



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
FACULDADE DE FARMÁCIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DE ALIMENTOS

....

**DESENVOLVIMENTO DE MACARRÃO TIPO TALHARIM INCORPORADO DE
FARELO DE MILHO**

GISLANE OLIVEIRA RIBEIRO

SALVADOR - BA

2015

GISLANE OLIVEIRA RIBEIRO

DESENVOLVIMENTO DE MACARRÃO TIPO TALHARIM INCORPORADO DE
FARELO DE MILHO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós
Graduação em Ciência de Alimentos da
Universidade Federal da Bahia, como requisito
para a obtenção do título de Mestre em Ciência
de Alimentos

Orientador: Prof. Dr. Renato Souza Cruz

Co-orientadora: prof. Dra. Geany Peruch
Camilloto

Salvador - BA

2015

Sistema de Bibliotecas da UFBA

Ribeiro, Gislane Oliveira.

Desenvolvimento de macarrão tipo talharim incorporado de farelo de milho / Gislane Oliveira Ribeiro. - 2016.

89 f. : il.

Orientadora: Prof. Dr. Renato Souza Cruz.

Co-orientadora: Profª Drª Geany Peruch Camilloto.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Farmácia, Salvador, 2015.

1. Farelo de milho. 2. Massas alimentícias. 3. Milho - Nutrição. 4. Milho como alimento.
5. Fibras na nutrição humana. 6. Tecnologia de alimentos. I. Cruz, Renato Souza.
II. Camilloto, Geany Peruch. III. Universidade Federal da Bahia. Faculdade de Farmácia.
IV. Título.

CDD - 633.15

CDU - 633.15



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
FACULDADE DE FARMÁCIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DE ALIMENTOS

TERMO DE APROVAÇÃO

GISLANE OLIVEIRA RIBEIRO

DESENVOLVIMENTO DE MACARRÃO TIPO TALHARIM INCORPORADO DE FARELO DE MILHO

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos (nível Mestrado Acadêmico) da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Ciência de Alimentos.

Aprovada em 29 de setembro de 2015.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Renato Souza Cruz
Universidade Federal da Bahia
Orientador

Dr^a. Clícia Maria de Jesus Benevides
Universidade do Estado da Bahia

Dr. Igor Viana Brandi
Universidade Federal de Minas Gerais

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, pelas oportunidades a me outorgadas e por provar que sua palavra é verdadeira e fiel. **"Sê forte e corajoso; não temas, nem te espantes, porque o SENHOR, teu Deus, é contigo por onde quer que andares" (Josué 1:9).**

A minha família que me apoia em minhas decisões, e me auxilia sem medir esforços para que eu conquiste os meus objetivos. Ao meu noivo (Rom), por sempre estar ao meu lado me apoiando. Por ser meu companheiro em todos os momentos.

Ao professor Dr. Renato Souza Cruz (orientador) e a professora Dra. Geany Peruch Camilloto (co-orientadora), pelos conselhos sobre a estrutura do documento, por toda colaboração, sugestões, disponibilidade, proatividade e paciência.

A todos os professores da UEFS que abriram as portas de seus laboratórios para que eu pudesse desenvolver minha pesquisa, em especial, a professora Elisa Teshima (UEFS) e Patricia (técnica laboratório) pela orientação nos ensaios microbiológicos. A Emília Lisboa e alunas de iniciação científica, pela contribuição na realização das análises e momentos de troca de conhecimentos.

A Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Aos amigos e mestres por compartilhar e dividir conhecimentos e a todos aqueles que, de alguma forma, estiveram próximos, durante esta caminhada rumo ao conhecimento.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS	x
RESUMO	xii
1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	17
2.1. Objetivo geral.....	17
2.2. Objetivos específicos	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1 O milho	18
3.1.1 Estrutura do grão de milho	19
3.1.2. Composição do farelo de milho	20
3.2. Fibras alimentares	23
3.3. Farinha sucedânea	25
3.4. Vida de prateleira.....	25
3.4.1. Rancidez hidrolítica e oxidativa	26
3.4.2. Atividade microbiológica.....	28
3.4.3. Micotoxinas	29
3.5. Propriedades tecnológicas das farinhas sucedâneas	31
3.5.1. Tamanho da partícula	31
3.5.2. Farinografia	33
3.5.3. Alveografia	35
3.5.4. Extensografia	37
3.6. Massas Alimentícias	39
3.6.1. Secagem de macarrão	41
3.6.2. Qualidade do macarrão	41
4. MATERIAL E MÉTODOS	43
4.1. Materiais	43
4.1.1. Homogeneização da matéria-prima	43
4.1.2. Tratamento Térmico da matéria-prima	43
4.2. Metodologia	43
4.2.1. Classificação granulométrica	43
4.2.2. Análises físico-químicas	43
4.2.3. Análise de cor	49
4.2.4. Determinação da vida de prateleira.....	49
4.2.5. Análise das propriedades reológicas das misturas	51

4.2.6. Incorporação de farelo de milho em macarrão seco tipo talharim ...	52
4.2.7. Delineamento experimental.....	56
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
5.1. Classificação granulométrica	57
5.2. Análises físico-químicas	58
5.3. Análise de cor	59
5.4. Determinação de vida de prateleira	60
5.5. Análises das propriedades reológicas da farinha	63
6. CONCLUSÃO	81
7. REFERÊNCIAS.....	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura do grão de milho	19
Figura 2: Farinógrafo branbender.....	33
Figura 3: Modelo de um farinograma	34
Figura 4: Alveógrafo de Chopin.....	36
Figura 5: Alveograma de massa elaborada com farelo de milho.....	37
Figura 6: Modelo de um extensograma.....	38
Figura 7: Analisador de textura TA.XT.plus com acessório A/KIE.....	39
Figura 8: Massa de farelo de milho sendo esticada em acessório A/KIE	39
Figura 9: Massa sendo extrusada em extrusora Indiana série 372707 com trefila para talharim.....	52
Figura 10: Massa de macarrão em varetas de aço inox penduradas na câmara de secagem.....	52
Figura 11: Secador vertical com circulação de ar.....	53
Figura 12: Amostra sendo prensada entre duas lâminas de vidro e observação do núcleo branco.....	54
Figura 13: Classificação granulométrica do farelo de milho termicamente tratado (FCTT).....	57
Figura 14: Teor de ácidos graxos livres (AGL) em farelo de milho tratado termicamente (FCTT) e farelo de milho sem aplicação de tratamento térmico (FSTT) durante 24 semanas de armazenamento a temperatura ambiente.....	60
Figura 15: Absorção de água da massa elaborada com farelo de milho em diferentes concentrações.	63
Figura 16: Tempo de chegada da massa elaborada com diferentes concentrações de farelo de milho.....	64
Figura 17: Estabilidade da massa elaborada com diferentes concentrações de farelo de milho.....	65
Figura 18: Tempo de desenvolvimento da massa elaborada com diferentes concentrações de farelo de milho.....	65
Figura 19: Índice de tolerância a mistura da massa elaborada com diferentes concentrações de farelo de milho.....	66
Figura 20: Tenacidade da massa elaborada com diferentes concentrações de farelo de milho.....	67
Figura 21: Extensibilidade da massa elaborada com diferentes concentrações de farelo de milho.....	68
Figura 22: Relação P/L da massa elaborada com diferentes concentrações de farelo de milho.....	69
Figura 23: Energia de deformação da massa elaborada com diferentes concentrações de farelo de milho.....	69
Figura 24: Resistência e extensão da massa elaborada com diferentes concentrações de farelo de milho.....	70
Figura 25: Extensibilidade da massa elaborada com diferentes concentrações de farelo de milho.....	70
Figura 26: Relação R/L da massa elaborada com diferentes concentrações de farelo de milho.....	70
Figura 27: Área abaixo da curva da massa elaborada com diferentes concentrações de farelo de milho.....	72
Figura 28: Umidade do macarrão elaborado com diferentes concentrações de farelo de milho.....	73

Figura 29: Tempo de cozimento da massa de macarrão elaborada com diferentes concentrações de farelo de milho.....	74
Figura 30: Absorção de água da massa de macarrão elaborada com diferentes concentrações de farelo de milho.....	75
Figura 31: Aumento de volume da massa de macarrão elaborada com diferentes concentrações de farelo de milho.....	76
Figura 32: Perda por cozimento da massa de macarrão elaborada com diferentes concentrações de farelo de milho.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição de aminoácidos do farelo de milho e do grão inteiro ...	21
Tabela 2: Teor de mineral do grão inteiro e do farelo bruto	22
Tabela 3: Teor de vitamina do grão inteiro e do farelo bruto	22
Tabela 4: Condições do processo de secagem empregadas para macarrão tipo talharim	53
Tabela 5: Análises físico-químicas de farelo de milho termicamente tratada (FCTT).....	58
Tabela 6: Análise colorimétrica do farelo de milho termicamente tratado(FCTT) e do farelo de milho sem tratamento térmico(FSTT)	59
Tabela 7: Análise microbiológica de farelo de milho tratado termicamente (FCTT) e farelo de milho sem aplicação de tratamento térmico (FSTT) durante 105 dias de armazenamento a temperatura ambiente	61
Tabela 8: Análise micotoxicológica de farelo de milho com tratamento térmico (FCTT) e farelo de milho sem tratamento térmico (FSTT) após 105 dias de armazenamento.	62

LISTA DE ABREVIATURAS

A	Adesividade
AAC	Área delimitada pela curva
ABS	Absorção de água da massa medida em farinógrafo
ABS _m	Absorção de água do macarrão após cozimento
AGL	Ácidos graxos livres
AV	Aumento de volume
Aw	Atividade de água
D	Dureza
EST	Estabilidade da massa
FAI	Fibra alimentar insolúvel
FAS	Fibra alimentar solúvel
FAT	Fibra alimentar total
FCTT	Farelo de milho tratado termicamente
F	Firmeza da massa
FSTT	Farelo de milho sem aplicação de tratamento térmico
ITM	Índice de tolerância a mistura
L	Extensibilidade da massa
P	Tenacidade ou resistência a massa para deformação
P/L	Razão entre Tenacidade e Extensibilidade da massa
PS	Perda de sólidos
R	Resistência a extensão
R/L	Razão entre Resistência a extensão e Extensibilidade da massa
TDM	Tempo de desenvolvimento da massa
TC	Tempo de cozimento
TCH	Tempo de chegada

U	Umidade
TRC	Trabalho de cisalhamento
UE	Unidades extensográficas
UF	Unidades farinográficas
W	Energia de deformação ou força do glúten

RESUMO

RIBEIRO, G. O. **Desenvolvimento de macarrão tipo talharim incorporado de farelo de milho**. 2015. 89f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Farmácia – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

Farelo de milho é rico nutricionalmente em especial pelo elevado teor de fibra dietética, e tem recebido grande atenção do ponto de vista da ciência de alimentos. No entanto são alterados por ação das enzimas lipolíticas que afetam a estabilidade e qualidade. O objetivo deste trabalho foi obter macarrão tipo talharim com propriedades nutricionais e tecnológicas adequadas, substituindo parcialmente a farinha de trigo por farelo de milho termicamente tratado. Efeito do tratamento térmico no farelo de milho foi monitorado durante o armazenamento por meio de análises microbiológicas, micotoxológicas e de ácidos graxos livres e foi avaliado a Influência do farelo de milho tratado termicamente (FCTT) nas características reológicas da farinha de trigo através de alveografia, extensografia e farinografia. FCTT foi incorporado em macarrão seco tipo talharim nas concentrações de 0 a 30% e avaliado a qualidade da massa através de testes de cozimento (tempo de cozimento, absorção de água, volume e perda por cozimento) e análises de textura da massa (adesividade, firmeza, trabalho de cisalhamento e dureza). FCTT possuiu 8,94% de umidade, 2,22% de cinzas, 9,73% de proteína, 9,37% de lipídios, 33,8 de fibras totais e granulometria com 73,21% de partículas de tamanho superior a 0,250 mm e 26,75% partículas inferior a 0,250 mm. A vida de prateleira de FCTT foi de 14 semanas com 4,868 de ácidos graxos livres (AGL) e valores microbiológicos e micotoxológico dentro dos níveis estabelecidos pela legislação brasileira. Farelo sem tratamento térmico (FSTT) atingiu valores superiores a 5% de AGL com uma semana de armazenamento. Por outro lado, FCTT alterou as propriedades reológicas da massa, diminuindo a estabilidade e o tempo de desenvolvimento da massa (TDM) e aumentou o índice de tolerância a mistura (ITM) deixando a farinha mais fraca. Não alterou a resistência à extensão (P) significativamente ($p < 0,05$) e provocou diminuição na extensibilidade (L). Provocou ainda aumento da relação P/L e R/E o que caracteriza uma farinha de alta resistência a extensão, fator desejável para elaboração de massas como macarrão. O teste de qualidade do macarrão mostrou que a incorporação em níveis variados de fibra provocou aumento no tempo de cozimento e volume, diminuição na perda de sólidos e aumento de absorção de água até o nível de 14,53% e depois sofreu diminuição até o nível de 30%, porém todas amostras com FCTT obtiveram absorção maior que a formulação padrão. FCTT aumentou a firmeza e adesividade da massa e diminuiu a dureza e trabalho de cisalhamento.

Palavras-chave: vida de prateleira; propriedades reológicas; macarrão talharim seco; testes de cozimento; textura de macarrão.

ABSTRACT

RIBEIRO. G. O. **Pasta tagliatelle corporate development type of corn bran**, 2015. 89f. Working course completion (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Farmácia - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

Corn meal is nutritionally rich in particular by the high dietary fiber content, and has received great attention from the point of view of the science of food. However they are altered by the action of the lipolytic enzymes that affect the stability and quality. The objective of this study was to obtain pasta type noodles with nutritional and technological properties suitable, partially replacing the flour by heat-treated corn bran. Effect of heat treatment on corn bran was monitored during storage by means of microbiological, Mycotoxicological and free fatty acids and evaluated the influence of corn bran heat treated (FCTT) in the rheological properties of wheat flour through alveography, extensography and farinography. FCTT was incorporated into noodles dry type noodles in concentrations of 0 to 30% and rated the quality of dough by baking tests (cooking time, water absorption, volume and cooking loss), and pasta texture analysis (adhesion, firmly shear work and hardness). FCTT owned 8.94% moisture, 2.22% ash, 9.73% protein, 9.37% fat, 36.1 of total fiber, soluble fiber 29.2, 6.9 of insoluble fiber and a sieve with 73.21% of particles larger than 0.250 mm and 26.75% particles less than 0.250 mm. FCTT Shelf Life of 14 weeks with 4,868 of free fatty acids (FFA) and microbiological and mycotoxicological values within the levels set by Brazilian law. Bran without heat treatment (FSTT) reached values of greater than 5% FFA with a week of storage. Moreover, FCTT alter the rheological properties of the dough, decreasing the stability and dough development time (TDM) and increased mixing tolerance index (ITM) leaving the weaker the flour. Did not alter the resistance to extension (P) significantly ($p < 0.05$) and resulted in lower extensibility (G). Also caused an increase of P / L and R / E which features a high resistance to extension flour, desirable factor for the preparation of pasta as macaroni. The noodle quality test showed that the incorporation of different levels of fiber resulted in an increase in the baking time and volume reduction of solids loss and increased water absorption to the level of 14.53% and then decreased to the level suffered 30%, however all samples

FCTT had higher absorption than the standard formulation. FCTT increased firmness and stickiness of the pasta and reduced the hardness and shear work.

KEYWORDS: Keywords: shelf life; rheological properties; noodles dry noodles; Baking tests; pasta texture.

1. INTRODUÇÃO

O consumo de produtos alimentares com valor nutricional agregado vem aumentando e uma das formas é por meio da incorporação de ingredientes com propriedades nutricionais desejáveis. Massas alimentícias são alimentos consumidos em todo o mundo e por todas as classes sociais, podendo ser enriquecidas com ingredientes que contribuem para melhorar seu valor nutricionais, tais como aminoácidos essenciais, fibra alimentar, vitaminas, e minerais (BAGDI et al., 2014; PATEL, 2015).

O milho é um cereal amplamente cultivado no mundo e importante matéria prima industrial com produção estimada de 81.811,4 mil toneladas em 2015, com previsão para aumentar 28% até o ano 2022. No entanto, o aumento do seu uso leva à produção de uma grande quantidade de farelo. O processo de degerminação do milho produz em torno de 40% de resíduos. Farelo de milho é geralmente utilizado para a alimentação animal, mas vem recebendo grande atenção do ponto de vista da ciência de alimentos pelo elevado valor nutricional devido ao conteúdo de aminoácidos, micronutrientes, fitoquímicos protetores e em especial o elevado teor (76-90%) de fibra dietética (BAEK, KIM, LEE, 2014; FARDET, 2014; SINGH, LIU, VAUGHN, 2012; EL DASH, GERMANI, 1994).

As fibras dietética ou fibra alimentar exercem funções importantes na manutenção da saúde. Sua maior ação ocorre no intestino humano, provocando laxação, ao aumentar o volume e o peso fecal acelerando o trânsito intestinal. Entretanto, estudos demonstram que o consumo de fibras pela população é muito baixo. Dessa forma, há grande interesse em elaborar produtos com maior quantidade de fibras (MOURA, 2010).

A literatura apresenta vários trabalhos com substituição da farinha de trigo por farinhas alternativas, visando oferecer ao consumidor produtos diferenciadas do ponto de vista tecnológico e nutricional (MEDEIROS, KWIATKOWSKI, CLEMENTE, 2012) como nos trabalhos de Foschia, et al., (2015); Niu, et al., (2014); Bagdi, et al., (2014); Ktenioudaki, O'Shea, Gallagher (2013); Aravind, et al., (2012); Chen, et al., (2011) e Noort, et al., (2010).

O macarrão é um alimento rico em carboidratos e proteínas com baixo teor de gorduras e sódio, produto de fácil preparo, largamente consumido pela população, e por isso um excelente veículo para incorporação de fontes de

nutrientes (OVANDO-MARTINEZ ET AL., 2009; CHOO ET AL., 2010; FOSCHIA ET AL., 2015).

Pesquisas sobre a reologia de cereais na indústria de panificação tem sido bem documentadas ao longo dos anos, com estudos sobre as propriedades reológicas de massas suplementadas com fibras e ou subprodutos ricos em materiais fibrosos. Sabe-se que, quando as características de reologia da massa são alteradas, o processamento da massa e a qualidade do produto final podem ser afetadas (KTENIOUDAKI, O'SHEA, GALLAGHER, 2013). As massas feitas com adição de outras farinhas devem ser similares às produzidas com trigo puro quanto à aparência e qualidade, sem desviar grandemente da tecnologia padrão (MARETTI, 2008; GUILHERME; JOKL, 2005). Extensibilidade, resistência a extensão, tempo de desenvolvimento da massa, estabilidade, grau de rigidez, firmeza, absorção de água e perda de sólidos em massas alimentícias são indicadores de qualidade importantes para determinação da porcentagem de incorporação aceitável para alcançar o equilíbrio nutricional e tecnológico (GIMENEZ et al., 2012).

Considerando-se a composição em nutrientes do farelo de milho e as novas tendências alimentares, em busca de alimentos diversificados e mais nutritivos, a proposta exposta pretende obter macarrão tipo talharim com propriedades nutricionais e tecnológicas adequadas, substituindo parcialmente a farinha de trigo por farelo de milho termicamente tratado.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Obter macarrão tipo talharim com propriedades nutricionais e tecnológicas adequadas, substituindo parcialmente a farinha de trigo por farelo de milho termicamente tratado.

2.2. Objetivos específicos

- Obter farelo de milho através de moagem;
- Caracterizar granulometria e cor e determinar umidade, atividade de água, pH, acidez, cinzas, lipídios, proteínas, fibras totais, fibras solúveis e fibras insolúveis do farelo de milho;
- Avaliar a estabilidade química do farelo de milho durante armazenamento;
- Avaliar microbiologia e micotoxicologia do farelo de milho durante armazenamento;
- Avaliar a influência da substituição parcial da farinha de trigo pelo farelo de milho nas propriedades reológicas das misturas;
- Elaborar macarrão do tipo talharim com diferentes concentrações de farelo de milho;
- avaliar a textura e as características tecnológicas do macarrão;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O milho

O milho é uma planta cultivada em regiões quentes e temperadas, sendo um dos cereais mais cultivados no mundo e uma das principais culturas da agricultura brasileira (ROCHA, 2010; GWIRTZ, CASAL, 2014).

Dentro da classificação botânica, o milho pertence a ordem *Gramineae*, família *Poaceae*, sub-família *Panicoideae*, tribu *Maydeae*, gênero *Zea*, espécie *mays*, com nome científico *Zea mays* Linné. Encontram-se hoje aproximadamente 150 espécies de milho, com grande diversidade de cor e formato dos grãos. É um cereal de fácil plantio e colheita, seja ele duro, doce ou de pipoca (CANÇADO, 2004).

É fonte de carboidratos, proteína, gordura, vitaminas (complexo B), sais minerais (ferro, fósforo, potássio, cálcio) e fibras, podendo ser utilizado tanto para o consumo humano como animal sendo, portanto, uma importante matéria-prima para a indústria de alimentos (GWIRTZ, CASAL, 2014). Sua transformação em diversos derivados possibilita o uso desse cereal como excelente fonte de matéria-prima, gerando diversos produtos, tais como canjicas, farinhas, amido, óleos entre outros (CANÇADO, 2004).

Entre 1990 e 2011, o número de milhões de hectares de milho colhidos variou 129,1-163,9. Durante o mesmo período, a produção de milho em toneladas por hectare aumentou 3,7-5,1 (GWIRTZ, CASAL, 2014). Segundo a CONAB (Companhia Nacional de abastecimento) a estimativa de área plantada de milho nos meses de junho e julho de 2015 foi de 15.481,8 e 15.569,6 milhões de hectares respectivamente. Na temporada 2014/15 a produção de milho na primeira safra no Brasil totalizou 30.262,9 mil toneladas. A consolidação da produção brasileira do milho, reunindo as duas safras, deverá atingir nesta temporada 81.811,4 mil toneladas, representando um acréscimo de 2,2% em relação à produção passada, que atingiu 80.051,7 mil toneladas. (CONAB, 2015).

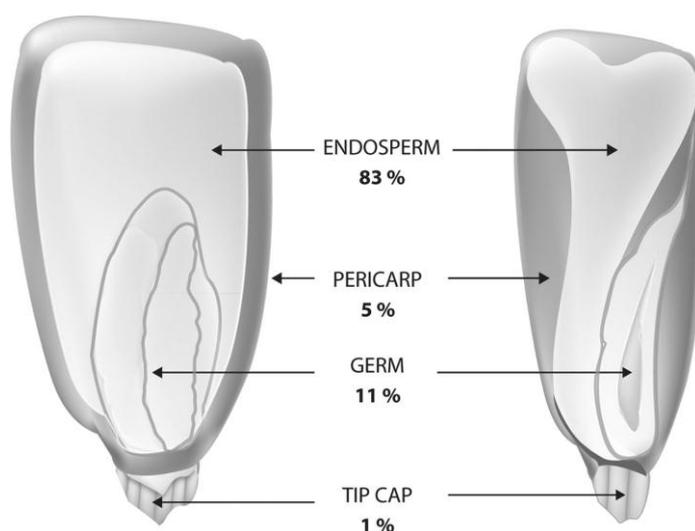
Cerca de 70% da produção mundial de milho é destinada à alimentação animal, podendo este percentual chegar a 85%, em países desenvolvidos. Em termos gerais, apenas 15% de toda a produção mundial destina-se ao consumo humano, sendo que no Brasil é somente cerca de 5% (CASTRO, 2011).

3.1.1 Estrutura do grão de milho

O grão de milho possui estruturas bem definidas que determinam sua composição nutricional (BRITO, et al., 2005). É composto por quatro estruturas primárias do ponto de vista de processamento. Eles são endosperma, germen, pericarpo e tampa da ponta, sendo aproximadamente 83%, 11%, 5 %, e 1 % do grão de milho respectivamente (Figura 1) (GWIRTZ, CASAL, 2014).

O endosperma é primariamente amido rodeado por uma matriz de proteínas, principalmente a zeína. O germen ou embrião do grão de milho é rico em gorduras (33,3 %), além de enzimas e nutrientes para o crescimento e desenvolvimento de nova planta. O germen também contém vitaminas do complexo B, antioxidantes e vitamina E. Por outro lado, possui quantidades elevadas de ácidos graxos poliinsaturados (54,7%), que estão sujeitas a oxidação e outras formas de ranço, resultando em sabores e odores desagradáveis (GWIRTZ, CASAL, 2014). O pericarpo é uma barreira semipermeável circundante do germen e do endosperma que possui um elevado teor de fibras (8,8% bruto). A tampa da ponta é a estrutura por onde toda a umidade e os nutrientes passam durante o desenvolvimento da semente (GWIRTZ, CASAL, 2014).

Figura 1: Grão de milho dividido em estruturas primarias em porcentagem



Fonte: GWIRTZ, CASAL, 2014

Segundo Brito, et al., (2005) a proteína do milho está distribuída no endosperma (cerca de 80% – denominada zeína) e no gérmen (cerca de 20% – denominada glutenina). A glutenina possui alto valor biológico, enquanto a zeína possui baixo valor biológico, em virtude do desequilíbrio de aminoácidos essenciais provocado pelo alto teor de leucina, isoleucina e fenilalanina e pela deficiência de lisina e treonina.

3.1.2. Composição do farelo de milho

O farelo de milho é obtido a partir do processo de degerminação do grão de milho, no qual é separado do endosperma amiláceo, por maceração ou por atrito mecânico, através de moagem por via seca ou úmida. O processo de degerminação do milho produz em torno de 40% de farelo, que é composto pelo pericarpo e por parte do gérmen. Assim, é rico em nutrientes, tais como micronutrientes, fitoquímicos protetores, lipídios, proteínas e principalmente fibras (76-90%). No entanto, durante a etapa de refinação ou fracionamento os componentes de alto valor nutricional são separados afetando a qualidade nutricional do farelo (FARDET, 2014; CASTRO, 2011; EL DASH; GERMANI, 1994).

A expectativa de expansão da produção de milho em 28% leva ao aumento da quantidade de farelo gerada. O farelo de milho é geralmente utilizado para a alimentação animal, mas vem recebendo grande atenção do ponto de vista da ciência de alimentos pelo elevado teor nutricional, sendo rico em hemicelulose, celulose, ácidos fenólicos, além dos demais nutrientes citados anteriormente, sendo incorporado nas formulações de vários produtos alimentares (PATEL, 2015; BAEK, KIM, LEE, 2014; SINGH, LIU, VAUGHN, 2012).

Por ser composto basicamente pelo pericarpo e gérmen, o farelo contém proteínas com melhor perfil aminoácídico e, portanto, melhor qualidade nutricional, em relação às proteínas do grão inteiro (CASTRO, 2011) conforme pode ser visualizado na Tabela 1.

Tabela 1: Composição de aminoácidos do farelo de milho e do grão inteiro

Aminoácido (mg/g proteína)	Farelo de milho	Grão inteiro
Aminoácidos essenciais		
Histidina	34,3	38,1
Isoleucina	36,1	36,3
Leucina	75,0	113,6
Lisina	57,2	37,9
Metionina + cisteína	31,3	34,7
Fenilalanina + tirosina	69,5	81,1
Treonina	46,9	39,5
Triptofano	19,4	15,8
Valina	57,3	51,6
Aminoácidos não essenciais		
Ácido aspártico	90,7	70,7
Ácido glutâmico	141,1	158,0
Alanina	69,4	79,2
Arginina	79,4	57,8
Glicina	62,3	41,7
Prolina	82,6	99,4
Serina	47,6	44,6

Fonte: Adaptado de NAVES, et al., (2011)

O farelo de milho, além de aminoácidos essenciais, contém quantidades consideráveis de minerais (CASTRO, et al., 2011), o que pode incrementar a qualidade nutricional de produtos para consumo humano. Castro et al., (2009), considera o farelo de milho rico em ferro e zinco ao encontrar em seus estudos 5,33 mg/100g de ferro e 5,07 mg/100g de zinco. O ferro é importante na prevenção da anemia ferropriva, carência nutricional de elevada prevalência na população brasileira. O zinco é fundamental nas funções enzimáticas e reguladoras, fazendo parte do sistema antioxidante do organismo (CASTRO, et al., 2011). A Tabela 2 apresenta a composição de mineral do farelo e do grão inteiro.

Tabela 2: Teor de mineral do grão inteiro e do farelo bruto

Mineral	Unidade /100g	Grão inteiro	Farelo bruto
Cálcio, Ca	mg	7,00	42,00
Ferro, Fe	mg	2,71	2,79
Magnésio, Mg	mg	127,00	64,00
Fósforo, P	mg	110,00	72,00
Potássio, K	mg	287,00	44,00
Sódio, Na	mg	35,0	7,00
Zinco, Zn	mg	2,21	1,56
Cobre, Cu	mg	0,31	0,25
Manganês, Mn	mg	0,49	0,14
Selênio, Se	µg	15,50	16,50

Fonte: GWIRTZ, CASAL, (2014)

Em se tratando do teor de fibra, o farelo de milho é excelente fonte. Possui 76-90% de fibra alimentar que possui propriedades funcionais importantes, tais como a redução de calorias dos produtos alimentícios (SINGH, LIU, VALGHN, 2012). A demanda por produtos com conteúdo calórico reduzido não decorre apenas do interesse do consumidor por produtos relacionados a dietas de controle de peso, mas da crescente preocupação com os benefícios trazidos pelos mesmos para a saúde. Esta preocupação se deve, principalmente, à grande controvérsia sobre as implicações nutricionais do consumo de gorduras e pelos benefícios do aumento do consumo de fibra na dieta (BENASI, WATANABE, LOBO, 2001).

Em paralelo, farelo de milho é um contribuinte significativo de vitaminas. Na Tabela 3 pode ser observado o teor de vitamina e minerais presentes no farelo de milho e no grão de milho inteiro.

Tabela 3: Teor de vitamina do grão inteiro e do farelo bruto

Vitamina	Unidade/100g	Grão inteiro	Farelo bruto
Tiamina	mg	0,39	0,01
Riboflavina	mg	0,20	0,10
Niacina	mg	3,63	2,74
Ácido pantotênico	mg	0,42	0,64
Vitamina B6	mg	0,42	0,15
Folato	µg	19,00	4,00
Colina	µg	—	18,10

Fonte: Adaptado de GWIRTZ, CASAL, 2014

3.2. Fibras alimentares

Com a tendência de alimentos pouco saudáveis, os perigos de saúde como obesidade, diabetes e complicações vasculares surgiram em proporções epidêmicas. A prevalência de obesidade entre os adultos e crianças aumenta a cada dia. Diabetes e as complicações aliadas como amputação, acidente vascular cerebral ou doença renal em fase terminal estão crescendo. Hiperlipidemia predispõe a doenças cardiovasculares variadas, aterosclerose, doenças coronárias e hipertensão. Embora existam terapias eficazes para tratar as doenças metabólicas letais, estas não são desprovidos de efeitos adversos. Exige a descoberta de medidas corporais-benigna, pragmático, preventivas e curativas. Fibras e fitoquímicos alimentares estão ganhando atenção devido seus benefícios terapêuticos sobre as síndromes metabólicas mencionadas (PATEL, 2015).

As fibras dietéticas podem ser classificadas de dois tipos: solúvel (pectina e gomas) e insolúvel (celulose e lignina), com base na solubilidade em água. A natureza solúveis e insolúveis das fibras dietéticas decide sua funcionalidade tecnológica e efeitos fisiológicos (MUDGIL, BARAK, 2013).

Fibra alimentar total são polissacarídeos componentes da parede celular de plantas que não podem ser hidrolisados por enzimas digestivas humanas incluindo celulose, hemicelulose e pectina, bem como outros polissacáridos de origem vegetal ou de algas, tais como gomas e mucilagens e oligossacáridos, como inulina. Hidratos de carbono, que também não são digeridos pelo intestino delgado, também são classificados como fibras, por exemplo, amido resistente, fruto-oligossacáridos, galacto-oligossacarídeo, celulosas modificadas e polímeros de hidrato de carbono sintetizados, tais como polidextrose. Estes podem ser obtidos a partir de cereais, legumes e frutas (MUDGIL, BARAK, 2013; DASHTI, 2003). São bem conhecidos pelos seus efeitos em relação à prevenção de prisão de ventre, a regulação do colesterol no soro, a redução do risco de diabetes e cancro do intestino, e a estimulação de microrganismos benéficos. Tem grande potencial para aplicação de alimentos devido suas propriedades funcionais.

As fibras solúveis têm sido associadas com a redução do colesterol no sangue e a diminuição da absorção intestinal da glicose. Quando incorporadas

em alimentos à base de amido podem reter os grânulos de amido restringindo a disponibilidade de água durante a gelatinização limitando o acesso das enzimas sob a digestão humana o que resulta na redução do índice glicêmico. Nas operações de processamento de alimentos, a incorporação de fibras solúveis em produtos alimentares é mais vantajoso uma vez que proporciona viscosidade, capacidade de formar géis e atuam como emulsificante. Aveia, frutas, legumes e leguminosas são ricas em fibra solúvel. Por outro lado, as fibras insolúveis estão associados com a absorção de água e regulação intestinal (OH, BAE, LEE, 2014; RAYMUNDO, FRADINHO, NUNES, 2014; MUDGIL, BARAK, 2013).

Atualmente a dieta é considerada o fator mais importante para a saúde, sendo assim o desenvolvimento de produtos que promovam a saúde e o bem-estar é uma das prioridades nas indústrias alimentícias, favorecendo então o consumo de alimentos enriquecidos com compostos ativos fisiologicamente (BETORET et al., 2003). À medida que os consumidores se tornam mais conscientes da necessidade de aumentar a fibra em sua dieta, a demanda por alimentos saudáveis, saborosos, tecnologicamente adequados e ricos em fibras aumenta (SINGH, LIU, VALGHN, 2012).

Por causa da concorrência no mercado e aumento da demanda por produtos saudáveis, naturais e funcionais, vários estudos estão sendo feitos para melhorar o valor nutritivo e funcional dos produtos de panificação ou em massas alimentícias, modificando sua composição nutritiva. Tais efeitos são conseguidos aumentando as proporções de matérias primas que não sejam de trigo, mas de diferentes tipos de farinhas com elevado teores de fibras alimentares (LARA, et al., 2011). Dessa forma, os produtos que são descartados ou utilizados como ração para animais, tais como os sub-produtos das indústrias de moagem, são hoje em dia, em grande parte aplicada a alimentos (MENDONÇA, 2000).

Pesquisadores vêm estudando processos e desenvolvendo produtos visando aumentar o teor de fibras em massas alimentícias pela adição de subprodutos do beneficiamento de frutos, leguminosas e grãos, como o de Sant' Anna et al (2014) que estudaram o efeito da incorporação dos bagaços de uva em pó em propriedades de fettuccini; Sudha, Baskaran, Leelavathi (2007) estudaram a utilização do bagaço de maçã como uma fonte de fibra dietética e polifenóis e seu efeito sobre as características reológicas de bolo e Raymundo,

Fradinho e Nunes (2014) estudaram o efeito do teor de fibra de Psyllium sobre as características reológicas e de textura de biscoito.

3.3. Farinha sucedânea

Segundo a Resolução – RDC nº 263 de 22 de setembro de 2005, farinha é o produto obtido pela moagem da planta comestível de vegetais, que foi submetida a processos tecnológicos adequados. O produto é designado “farinha”, seguido do nome do vegetal de origem: “farinha de mandioca”, “farinha de milho” (BRASIL, 2005).

Na década de 60, a utilização de farinhas provenientes de duas ou mais matérias-primas tinha como objetivo a substituição parcial da farinha de trigo para redução das importações desse cereal. Posteriormente, as pesquisas com essas misturas foram direcionadas para a melhoria da qualidade nutricional de produtos alimentícios e para suprir a necessidade dos consumidores por produtos diversificados (BORGES, 2013).

O uso de farinha sucedânea pode ser recomendável para substituir em parte a farinha de trigo, desde que a adição não ocasione prejuízo da qualidade do produto. Os consumidores estão dispostos a comprar estes produtos, desde que ele faça parte de seus hábitos alimentares, tenha um sabor agradável, boa qualidade e que seu preço esteja em condições de competir com o do produto convencional (BUENO, 2005).

Nesse contexto, diversos pesquisadores vêm utilizando farinhas sucedâneas na elaboração de produtos de panificação, tais como Couto (2007) – Utilização da Farinha de Casca de Pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) na elaboração de Pão de Forma; Lima (2007) – Aplicação das Farinhas de Linhaça (*Linum Usitatissimum* L.) e Maracujá (*Passiflora edulis* Sims F. *Flavicarpa* Deg.) no Processamento de Pães com Propriedades Funcionais; e Perez e Germani (2004) – Farinha Mista de Trigo e Berinjela: Características Físicas e Químicas.

3.4. Vida de prateleira

A vida útil dos alimentos é definida como o tempo desde a fabricação até o consumo, onde um produto alimentar continua a ser seguro e saudável nas condições recomendadas. No momento da compra, os consumidores usam aparência, firmeza, cor e aroma para estimar a qualidade do produto; mas não é

possível avaliar a segurança, carga microbiana ou vantagens nutricionais. Para uma série de produtos, oxidação lipídica é o parâmetro mais importante para a garantia quer seja pelo aspecto nutricional ou pela vida de prateleira e segurança dos alimentos (LOPEZ-DUARTE, VIDAL-QUINTANAR, 2009).

Farinha integral, por possuir pericarpo e gérmen, é acompanhada por uma série de alterações bioquímicas que reduzem à funcionalidade durante o armazenamento. Por isso é bem aceito que a vida de prateleira de farinha de trigo integral é consideravelmente menor do que a farinha de trigo comum (DOBLADO-MALDONADO, et al., 2012).

3.4.1. Rancidez hidrolítica e oxidativa

Lipídios de cereais são constituídos de triacilgliceróis e produtos da hidrólise do mesmo, que servem como reservatório de energia e construção para sementes na fase de germinação (LEHTINEN et al, 2003). O embrião do grão de milho é rico em lipídios (33,3 %), sendo 54,7% de ácidos graxos poliinsaturados que após degerminação do grão são submetidos a diversas reações, onde pela presença de oxigênio e ação das enzimas lipolíticas que estão localizados principalmente nas regiões da aleurona, subaleurona e germinativas são transformados em ácidos graxos livres provocando a oxidação e afetando a qualidade sensorial dos produtos (GWIRTZ, CASAL, 2014; MEERA, BHASHYAM, ALI, 2011).

Lipídios são modificados na farinha por rancidez hidrolítica, o que pode ser seguido de rancidez oxidativa. Estas alterações podem ocorrer por ação enzimática ou não enzimáticas e afetar a qualidade da farinha. Oxidação lipídica enzimática ocorre por meio da ação da lipoxigenase (CE 1.13.11.12) que encontra-se localizado no farelo e gérmen do trigo. É constituída por um grupo de isozimas com uma massa molecular de ~110 kDa e uma atividade ótima a pH entre 4,5 e 6,0. Lipoxigenase ataca o grupo metileno entre duas ligações duplas nos ácidos gordos poli-insaturados, de preferência ácidos gordos poli-insaturados não esterificados. Auto-oxidação pode ocorrer por meio de reação não-enzimática de lipídios de cereais com o oxigênio atmosférico (DOBLADO-MALDONADO, et al., 2012). É um processo em cadeia de radicais livres que consiste nas etapas de iniciação, propagação e terminação. Os metais de transição, luz, e temperatura podem catalisar a geração de espécies de oxigênio

reativas, tais como o ânion superóxido e radical hidroxilo. Os radicais livres podem reagir com os ácidos graxos insaturados, a partir da reação em cadeia. Ao final das reações em cadeia são formados acetaldeído, propanal, pentanal e hexanal o que aumenta a probabilidade de rejeição do produto pelo consumidor. É claro que, quando o consumidor rejeita qualquer tipo de alimento, a vida de prateleira do produto atingiu um ponto final, e, possivelmente, o consumo não é seguro (LOPEZ-DUARTE, VIDAL-QUINTANAR, 2009).

A estabilidade durante o armazenamento é conseguida pela inativação das enzimas responsáveis pela iniciação das reações deteriorativas. Sem esta inativação, o produto pode ser armazenado por curto período de tempo. Pois a hidrólise de lipídio provoca a formação de sabor amargo e odor indesejável o que torna o material inutilizável (LEHTINEN et al., 2003).

Um número de abordagens de tratamento de calor têm sido exploradas para inibir a atividade lipolítica. A taxa de oxidação é muito sensível à temperatura. Uma vez que a atividade de lipase é concentrada no farelo, esta fração pode ser aquecida separadamente e depois adicionado à farinha de trigo, nas proporções apropriadas. Isto permite a inibição da lipase, sem correr o risco de influenciar as propriedades funcionais da farinha. (DOBLADO-MALDONADO, et al., 2012; LOPEZ-DUARTE, VIDAL-QUINTANAR, 2009).

Embora a maioria das enzimas tem parâmetros térmicos semelhantes às dos microrganismos e, por conseguinte, são inativados durante os processos de pasteurização e esterilização comuns, algumas enzimas são muito resistentes ao calor. Consequentemente, as atividades enzimáticas residuais podem causar alterações nos atributos de qualidade de um produto durante o armazenamento (HASAN, SHAH, HAMEED, 2009).

Outro fator importante é a umidade. Lipase exibe atividade máxima no trigo em cerca de 17% de umidade; No entanto, para teores de umidade geralmente observados durante o armazenamento em farinha (10-14%), a atividade de lipase continua a cerca de 50% do valor máximo. Porém, quantidades excessivas de água protege o lipídio de ser exposto ao sítio catalítico da enzima e é reduzida a sua atividade (DOBLADO-MALDONADO, et al., 2012).

A determinação de acidez pode fornecer um dado valioso na apreciação do estado de conservação de um produto alimentício. Um processo de

decomposição seja por hidrólise ou oxidação, altera quase sempre a concentração dos íons de hidrogênio (ADOLFO LUTZ, 2004).

3.4.2. Atividade microbiológica

Os microrganismos podem causar alterações químicas prejudiciais nos alimentos, resultando na “deterioração microbiana”, conseqüente da atividade metabólica natural dos mesmos. Além disso, os microrganismos patogênicos podem representar riscos à saúde do homem. Tais patógenos podem chegar aos alimentos através de diversos meios, como o solo, a água, plantas, manipuladores de alimentos e o trato intestinal do homem (BUENO, 2005).

Uma das principais preocupações dos profissionais da área de alimentos está relacionada ao controle do desenvolvimento microbiano visando eliminar riscos à saúde do consumidor, bem como prevenir ou retardar o surgimento de alterações indesejáveis nos alimentos. Para isso, são necessárias medidas que controlem o desenvolvimento de microrganismos, dentre as quais estão o uso de métodos mecânicos como a filtração, manutenção de condições atmosféricas desfavoráveis à multiplicação microbiana, utilização de temperaturas elevadas, desidratação, utilização de reagentes químicos e outros (BUENO, 2005).

Em conseqüente, sabe-se que, para um dado aumento de temperatura, a taxa de destruição de microrganismos aumenta mais rápido que a taxa de destruição de nutrientes e componentes sensoriais, devido às suas diferentes energias de ativação. Portanto, os processos térmicos são geralmente conduzidos sob condições que conduzem a destruição microbiana com perda limitada de nutrientes e atributos sensoriais (HASAN, SHAH, HAMEED, 2009).

Segundo Resolução – RDC nº 12, de 2 de janeiro de 2001, da ANVISA a contaminação microbiológica da farinha de farelo de milho, deve ser avaliada pelos seguintes microrganismos: *Coliformes a 45°C*, *Bacillus cereus* e *Salmonella sp.*

Os *Coliformes a 45 °C* são classificados como aqueles capazes de fermentarem a lactose com produção de gás em 48h a 44,5°C, e contendo na sua população supostamente um elevado número de *Escherichia coli*. A presença desses microrganismos indicam condições higiênico-sanitárias não satisfatórias sendo considerada a melhor indicação da presença de enteropatógenos em ambientes ou produtos alimentícios (BUENO, 2005).

Bacillus cereus é uma bactéria em forma de haste que pode formar esporos, comumente presentes nos alimentos. É um microrganismo oportunista amplamente reconhecido como o agente etiológico de surtos de origem alimentar (emético e síndromes diarréicas), bem como patologias não-intestinais (LOPEZ, et al., 2015).

As bactérias do gênero *Bacillus* caracterizam-se por uma intensa atividade metabólica, já que produzem enzimas que degradam muitos substratos orgânicos. O *Bacillus cereus* é um bacilo Gram-positivo grande, mesófilo, com flagelos peritríquios e produtor de esporos. Multiplica-se bem entre 10°C e 48°C e pH de 4,9 a 9,3 com atividade de água mínima de 0,95. É encontrado largamente distribuído na natureza, sendo o solo o seu reservatório natural (FERNANDES, 2006). Distribui-se amplamente no ambiente, tanto em sua forma de esporos como de células vegetativas. Contamina facilmente alimentos como grãos, cereais, vegetais, condimentos e também animais, como produtos cárneos e lácteos (BUENO, 2005).

A *Salmonella sp* corresponde a um grupo de microrganismos em forma de bastão, Gram-negativo, não formador de esporos. Causam doenças infecciosas no homem e nos animais e atualmente já são conhecidos mais de 2600 sorotipos de *Salmonella* (BUENO, 2005). Os membros do gênero *Salmonella* são potencialmente patogênicos. São habitantes comuns do trato intestinal de vários animais mamíferos, aves, répteis e artrópodes, principalmente galinhas e bovinos. Em condições sanitárias precárias podem contaminar alimentos. (CANÇADO, 2004).

3.4.3. Micotoxinas

Os fungos são indesejáveis nos alimentos porque são capazes de produzir uma grande variedade de enzimas que, agindo sobre os alimentos, provocam a sua deterioração. Além disso, muitos fungos podem produzir metabólitos tóxicos quando estão se multiplicando nos alimentos. Estes metabólitos recebem a denominação genérica de micotoxinas e correspondem a produtos metabólitos secundários que, quando ingeridos com os alimentos, causam alterações biológicas prejudiciais tanto no homem como nos animais (FERNANDES, 2006). São descritas cerca de 300 micotoxinas, produzidas por aproximadamente 200 fungos diferentes. Entretanto, apenas cerca de 20 são

encontradas em alimentos e rações, em níveis que possam ser considerados de risco para a saúde (ANKLAM, et al 2002).

Os principais fatores que favorecem o desenvolvimento de fungos durante o cultivo na lavoura, são temperatura e umidade. Já durante o armazenamento de grãos, são umidade, temperatura, período de armazenamento, nível de contaminação, impurezas e matérias estranhas, insetos, nível de oxigênio, condições físicas da semente ou grão e condições sanitárias (FILHO, 2011). Está também relacionada com a disponibilidade de água livre (A_w), o efeito de solutos específicos, a concentração de íons hidrogênio (pH), a atmosfera de armazenamento, a consistência do alimento, as características nutricionais e o efeito dos conservantes. Esses fatores não atuam isoladamente sobre os microrganismos, mas sim na forma combinada, o que resulta em sinergismo e maior segurança para os alimentos (CANÇADO, 2004).

No Brasil, a contaminação fúngica dos alimentos é bastante frequente, uma vez que as condições climáticas propiciam o desenvolvimento dos fungos e a consequente produção de micotoxinas. É importante ressaltar que o processamento e o armazenamento dos grãos podem alterar a microbiota, porém as micotoxinas permanecem no produto devido à estabilidade química que apresentam (TESSARI, 2004).

Dentre os fungos de depósito ou armazenamento, algumas espécies dos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium* constituem os que mais se proliferam nos grãos armazenados. Esses gêneros são os maiores produtores de micotoxinas e são capazes de se manterem em desenvolvimento com baixa umidade, produzindo toxinas que reduzem a qualidade nutritiva dos grãos e seu valor de mercado. As micotoxinas passíveis de serem encontradas em milho são as fumonizina, zearalenona, aflatoxina e ocratoxina (FILHO, 2011).

A Organização para a Alimentação e Agricultura das Nações Unidas (FAO) estimou que cerca de 25% dos cereais produzidos no mundo estão contaminados por micotoxinas. Muitos países adotaram regulamentos para limitar a exposição dessas toxinas. A sua presença não está apenas relacionada com o efeito que pode ter sobre a saúde do consumidor, mas também pode ter um impacto sobre o comércio mundial. De acordo com o relatório anual do Sistema de Alerta Rápido para Alimento Humano e Alimento Animal (RASFF), em 2012 as micotoxinas foram o principal ponto crítico nas notificações de

rejeição de fronteira na União Europeia, sendo as aflatoxinas as principais (MARIN, et al., 2013). No Brasil, o regulamento que dispõe sobre limites máximos tolerados (LMT) para as micotoxinas em alimentos é a Resolução - RDC Nº 7, de 18 de fevereiro de 2011 que dispõe limite máximo de 20, 2500 e 300 ppb para aflatoxina, fumonisina e zearalenona respectivamente (BRASIL, 2011).

3.5. Propriedades tecnológicas das farinhas sucedâneas

3.5.1. Tamanho da partícula

O tamanho das partículas é considerado um critério importante para as matérias-primas e um dos principais fatores que afetam a qualidade e o sabor dos produtos alimentares finais (SINGH, LIU, VAUGHN, 2013).

A maioria dos consumidores preferem produtos de farinha branca refinada do que produtos integrais, porque eles percebem que as propriedades de textura de produtos integrais são menos atraentes. No entanto, por razões de saúde é desejado um consumo diário significativamente maior de produtos integrais. A melhor maneira de estimular o consumo de produtos integrais é melhorando a sua atratividade (NOORT, et al., 2010).

O tamanho das partículas tem uma influência surpreendente nas propriedades funcionais da farinha. Em geral, as partículas grandes (tamanho médio maior que 500 μm) tem uma absorção de água mais elevada em comparação com tamanhos de partículas mais finas (tamanho médio menor que 500 μm). No entanto, se as partículas do farelo são grossa (> 600 μm), o produto final terá uma textura arenosa. Do ponto de vista nutricional, as partículas pequenas podem ajudar na liberação de vitaminas e outros componentes das células exteriores (DOBLADO-MALDONADO, et al., 2012).

No estudo de Niu, et al. (2014), quando avaliou o efeito da moagem superfina em diferentes tamanhos de partícula sobre as propriedades da farinha de trigo integral e em macarrão cru, foi observado que partículas pequenas (125 μm ou inferior) têm pouco efeito sobre o tempo de desenvolvimento, a estabilidade, o índice de tolerância e o tempo de saída. O farelo fino apresentou-se menos destrutivo sobre as propriedades de mistura da massa do que o farelo grosso.

Em contrapartida, um tamanho de partícula menor tem influência negativa que está relacionada com a ruptura das células da camada de aleurona durante a moagem, causando liberação de compostos intracelulares, tais como enzimas, glutathiona ou fitatos, que poderiam interagir com as proteínas de glúten (NOORT, et al., 2010). Porém, para os produtos que não requerem o desenvolvimento de glúten podem ter diferentes requisitos de tamanho de partícula (DOBLADO-MALDONADO, et al., 2012).

Também foi observado efeito do tamanho da partícula na cor de massas de macarrão. À medida que o tamanho de partícula foi reduzido, a claridade (L^*) foi aumentando. Isto é principalmente devido ao fato de que o farelo fino é facilmente incorporado na matriz de massa durante a mistura, o que diminui as manchas visíveis na superfície do macarrão (NIU, et al., 2014).

Tamanho de partículas também desempenha um papel fundamental na perda de sólidos durante o cozimento. Farelo grosseiro tem um impacto negativo sobre a rede de glúten por causa da ruptura física na matriz de glúten, o que resulta em maior perda de cozimento em macarrão. Moagem superfina é um tipo de técnica que é considerado como sendo eficaz para reduzir o tamanho de partícula de farelo grosso, e mostrou-se que houve uma diminuição de perda de cozimento em geral. No entanto, uma moagem excessiva pode distorcer a estrutura cristalina do amido e causar a lixiviação de amilose dos grânulos de amido, o que resulta na perda durante o cozimento (NIU, et al., 2014).

Frequentemente, a morfologia das partículas de farelo de milho não é simplificado por um único tamanho característico, obtendo tamanho superior ao da farinha de trigo. Para melhor utilização, através de uma farinha homogênea, o farelo de milho é submetido a um processo de moagem a fim de reduzir o tamanho da partícula a aproximadamente 60 mesh ABNT que é o tamanho padrão para farinha de trigo segundo portaria 354, de 18 de julho de 1996. (REFERENCIA)

Uma série de métodos e equipamentos são usados para caracterizar distribuições de tamanho de partícula, incluindo difração de laser, dispersão de luz, impactadores em cascata, espectroscopia acústica, processamento de imagem ou peneiramento mecânico. Peneiramento mecânico é o método mais utilizado para a análise do tamanho de partícula e foi o utilizado nesse estudo (CHEN, et al., 2011).

3.5.2. Farinografia

A análise reológica de farinografia avalia a resistência oferecida pela massa quando submetida à ação mecânica constante sob condições experimentais, utilizando o farinógrafo (AACC, 2000). À medida que a farinha é hidratada, a massa vai sendo desenvolvida, perdendo a mobilidade e aumentando a força necessária para desenvolvê-la. O nível máximo de resistência está diretamente relacionado com a consistência, a qual depende principalmente da quantidade de água que se adiciona. Nessa análise são obtidos dados a respeito da capacidade das farinhas em absorver água, tempo de desenvolvimento e estabilidade da massa (ORO, 2013).

O farinógrafo (Figura 2) é um equipamento que mistura a massa numa cuba provida de dois braços em “Z”, que giram em sentido contrário. A força requerida para que estes braços misturem a massa é medida por um dinamômetro conectado a um mecanismo registrador que produz um gráfico, denominado farinograma, o qual mostra as variações ocorridas por meio do processo de mistura (FERNANDES, 2006).

Figura 2: Farinógrafo Branbender

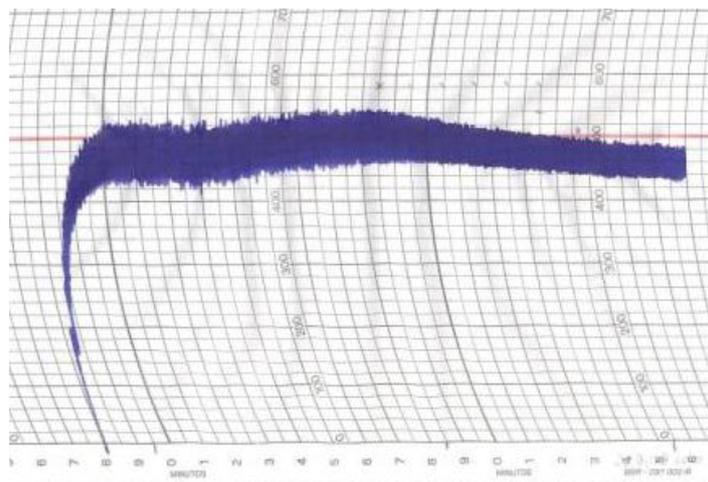


Fonte: AARON Equipment company (<http://www.aaronequipment.com>)

Este equipamento fornece vários parâmetros, através de um gráfico (Figura 2), entre os quais a capacidade de absorção de água pela farinha e o tempo de estabilidade. Os componentes da farinha que influenciam na sua capacidade de

absorção de água são proteína, açúcares, quantidade de amido inteiro e danificado, granulometria da farinha e as fibras. Dentre estes, o mais importante constituinte da farinha que afeta a absorção de água é o glúten, que tem a capacidade de absorver 2,8 vezes seu peso seco, enquanto que os grânulos de amido não danificados podem absorver apenas 35% do seu peso. Outros componentes da farinha, como celulose, hemicelulose e pentosanas, também tendem a ter uma alta capacidade de absorção (FERNANDES, 2006). As farinhas mais finas têm uma área de superfície total maior, com conseqüente maior grau e capacidade de absorção, enquanto que as farinhas com tamanho da partícula maior irão expor menor área de superfície e, portanto, menor absorção (FERNANDES, 2006),

Figura 3: Modelo de um farinograma



Fonte: (SCHEUER, 2009)

Outro parâmetro importante dessa análise é o tempo de desenvolvimento de massa (TDM) que é calculado em minutos e corresponde ao intervalo decorrente desde a adição de água até o ponto de máxima consistência, que pode ser visualizado pela formação de um pico. Ocasionalmente, dois picos podem ser observados, neste caso, o segundo deve ser considerado como ponto de desenvolvimento da massa. Farinhas consideradas fortes requerem tempo de desenvolvimento maior do que farinhas fracas (ORO, 2013).

A estabilidade (EST) é um índice primário da qualidade da farinha e uma das mais significativas determinações realizadas na farinografia. É definida como

a diferença entre o tempo relativo ao ponto em que o máximo da curva intercepta a linha média de 500 Unidades Farinográficas (UF) e o tempo relativo ao ponto em que o topo da curva deixa a mesma. Em geral, este valor fornece indicação da tolerância da farinha à mistura (ORO, 2013). O tempo de estabilidade, medido em minutos, permite comparar farinhas entre si, uma vez que, quanto maior o tempo de estabilidade mais forte é a farinha (FERNANDES, 2006).

Outro parâmetro qualitativo a ser considerado é o índice de tolerância a mistura (ITM). Ele pode ser definido como a diferença, em UF, entre o topo da curva no pico e o topo da curva medida 5 minutos após o pico ser alcançado. Comumente, farinhas com boa tolerância à mistura possuem menor ITM. Quanto maior o ITM, mais fraca é a farinha (ORO, 2013).

3.5.3. Alveografia

No sentido de complementar as análises farinográficas e para prever o comportamento de uma farinha no processo de panificação, é quantificada a força necessária para romper a massa à medida que ela é estendida ou inflada. Para isso é utilizado o equipamento alveógrafo de Chopin (ORO, 2013).

No alveógrafo (Figura 4), a massa foi preparada em masseira com 250 g de farinha e 125 mL de solução salina na concentração de 2% (ajustada de acordo com o conteúdo de umidade da farinha) e misturada durante 8 minutos. A massa é laminada e cortada em 5 discos, que são deixados descansar durante 20 minutos a temperatura de 25°C. Em seguida, cada disco de massa é colocado sobre uma base onde permanece preso por um aro e é inflado com ar que flui a velocidade constante a partir do centro da base formando uma bolha de massa de forma esférica (ORO, 2013).

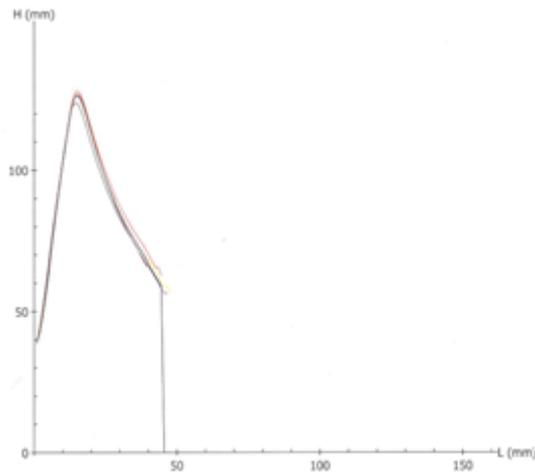
Figura 4: Alveógrafo de Chopin



Fonte: EQEC (<http://eqec.pt/produtopers.php?id=5&fam=6&subfam=19>)

O teste de alveografia simula o comportamento da massa avaliando as características viscoelásticas, força e extensibilidade, da farinha de trigo utilizando diferentes parâmetros, os quais possibilitam determinar o tipo de produto para o qual servirá a farinha. Deste modo, uma massa forte, que possa ser estendida de maneira limitada e mostre tendência a recuperar a sua forma original, será adequada para panificação. Ao contrário, uma massa fraca, que se estenda facilmente e mostre elasticidade limitada e não recupera sua forma original é adequada para biscoitos. Na Figura 5 pode ser observado o modelo de um alveograma (ORO, 2013).

Figura 5: Alveograma de massa elaborada com farelo de milho



A energia de deformação da massa ou força de gluten (W) representa o trabalho de deformação da massa e está relacionada com a qualidade de panificação da farinha. Ela corresponde ao trabalho mecânico necessário para expandir a bolha até a ruptura, sendo expressa em 10^{-4} J. Os valores de W podem variar de 100 a valores superiores a 300×10^{-4} J. Quanto mais alto for o valor de W , maior será a força do glúten (ORO, 2013).

A tenacidade (P) indica a pressão máxima exercida no trabalho de expansão da massa, expressa em milímetros, e corresponde a uma medida da capacidade de absorção de água da farinha. A extensibilidade da massa (L), juntamente com o teor de proteínas, é utilizada para predizer o volume, e representa a capacidade de extensão da massa sem que ela se rompa. Um alto grau de extensibilidade está associado a um baixo rendimento de farinha (ORO, 2013).

A relação tenacidade/extensibilidade (P/L) expressa a estabilidade da massa que serve como guia para determinar se as massas são pouco extensíveis, equilibradas ou muito extensíveis. Para a fabricação de massas alimentícias secas, farinhas tenazes, o ideal são farinhas balanceadas com relação $P/L > 1,21$ (ORO, 2013).

3.5.4. Extensografia

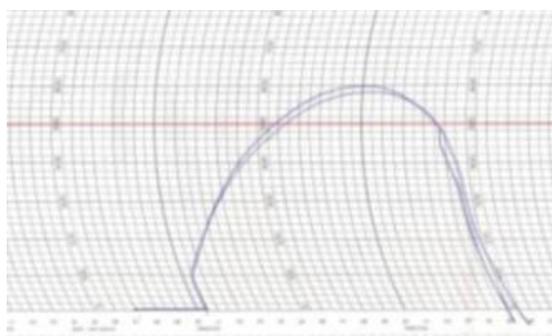
Na extensografia é medida e registrada a resistência da massa à extensão, enquanto ela é esticada em velocidade constante, após períodos de

descanso, além de medir, também, sua extensibilidade (E), o que é importante à retenção de gás (SCHEUER, et al., 2009).

A análise de extensografia é feita utilizando-se o equipamento extensógrafo. Após a mistura e o descanso da massa, esta é esticada. O extensógrafo puxa a massa utilizando um gancho, até o momento de sua ruptura e simultaneamente registra a informação da força efetuada. Para interpretação dos resultados são analisados os seguintes parâmetros: energia (A), resistência à extensão (R), resistência máxima (Rm), extensibilidade (L), e o número proporcional (D). Um modelo do gráfico extensográfico pode ser visto na Figura 6. A energia é a área (AAC) delimitada pela curva extensográfica, quanto maior for a AAC, maior será a energia requerida para esticar a massa e, portanto, mais forte será a farinha. A resistência a extensão (R) é a altura da curva a 5 cm da origem e expressa em unidades extensográficas (UE). A resistência máxima corresponde à altura máxima da curva, designada por Rm e expressa em UE. A estabilidade (L) designada em centímetros, indica o comprimento do extensograma. Refere-se ao número de vezes que a massa foi estendida, em relação ao seu comprimento original, até romper-se. O número proporcional (D), ou a razão entre resistência à extensão e à extensibilidade (R/L), define a relação existente entre estas; ou seja, indica o balanço existente entre a força da massa (R) e L, antes de romper (SCHEUER, 2009).

Os parâmetros resistência a extensão e extensibilidade da massa foram determinados em texturômetro TA-XT2 com o acessório A/KIE (Figuras 7 e 8).

Figura 6: Modelo de um extensograma

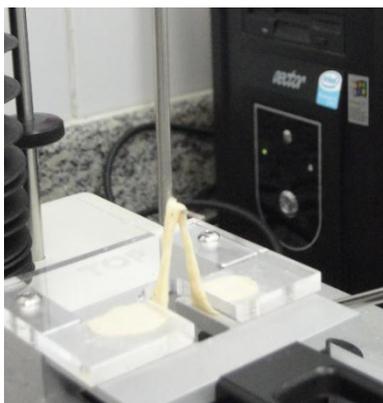


Fonte: (SCHEUER, 2009)

Figura 7: Analisador de textura TA.XT.plus com acessório A/KIE



Figura 8: Massa de farelo de milho sendo esticada em acessório A/KIE



3.6. Massas Alimentícias

Segundo Resolução - RDC nº 93, de 31 de outubro de 2000 (BRASIL, 2000) , massa alimentícia é o produto não fermentado, apresentado sob várias formas, recheado ou não, obtido pelo empasto, amassamento mecânico de farinha de trigo comum e ou sêmola/semolina de trigo e ou farinha de trigo integral e ou farinha de trigo *durum* e ou sêmola/semolina de trigo *durum* e ou farinha integral de trigo *durum* e ou derivados de cereais, leguminosas, raízes ou tubérculos, adicionado ou não de outros ingredientes e acompanhado ou não de temperos e ou complementos, isoladamente ou adicionados diretamente à massa.

Massa de macarrão é um produto tradicional, geralmente feito de sêmola, que é considerada a melhor matéria-prima. A preparação da massa envolve diferentes etapas: moagem, formação de massa e secagem. O consumo de macarrão tem aumentado, devido à sua facilidade de transporte, manuseio, culinária e preparação. Massa de macarrão é reconhecido como baixo teor de sódio e gordura, sem colesterol e uma rica fonte de hidratos de carbono complexos. A Organização Mundial da Saúde (OMS) e a Food and Drug Administration (FDA) considera macarrão um bom veículo para a adição de nutrientes (GALLEGOS- INFANTE, et al., 2010).

No Brasil, o consumo de massas alimentícias ganhou impulso pela participação desses produtos na cesta básica do brasileiro, pela facilidade de preparo e a estabilidade durante o armazenamento (CICHELO, 2000). A possibilidade de se elaborar novos tipos de massas alimentícias a partir de farinhas diferentes do trigo tem despertado interesse de pesquisadores, além da literatura demonstrar a necessidade da produção de massas não convencionais (ORMENESE, 2002).

El Dash e Germani (1994) salientam que para se produzir massas alimentícias mistas de qualidade é necessário ter o controle em relação ao nível de substituição da farinha de trigo por outras farinhas que não contém glúten. Pela ausência de glúten nas farinhas sucedâneas, elas podem ser adicionadas ao nível aproximado de 30%, sem causar mudanças significativas no produto final.

No entanto, dependendo do nível de substituição, a produção de macarrão pode ser mais ou menos difícil. Wood (2009) quando trabalhou com fortificação de macarrão com farinha de grão de bico acima de 30% não obteve bons resultados por causa da agregação das partículas que tornaram a extrusão difícil durante a mistura. Os resultados de Petitot, et al. (2010) também não foram bons quando trabalhou com fortificação de macarrão com farinha de ervilha e fava ao nível de 35%. Além disso, elevado nível de substituição pode diminuir a qualidade da massa. Mudanças negativas na qualidade de cozimento (maior perda por cozimento e viscosidade) e atributos sensoriais (pobre aceitabilidade) aparecem ao nível de substituição mais elevado (PETITOT, et al., 2010). Massa fortificada ao nível de substituição de 10% com a farinha de grão de bico (Wood, 2009) foi bem aceita.

3.6.1. Secagem de macarrão

A etapa de secagem é uma operação crucial para a qualidade da massa de macarrão, uma vez que pode ocorrer modificações dos componentes principais. Os métodos tradicionais para a secagem de massas usam baixas temperaturas (29-40°C) e tempos de tratamento mais longos (24-60 h), mas a utilização de tratamentos de baixa temperatura seguido por temperaturas mais elevadas (60-80 °C ou 80-100 °C) e tempos de tratamento mais curtos (5-12 h ou 1-2 h) tem sido amplamente aceito (PETITOT, et al., 2010).

Aplicação de altas temperaturas de secagem no processamento de fabricação de macarrão aumenta a qualidade da massa feita com trigo duro (menor perda por cozimento, menor viscosidade e maior firmeza). Elevadas temperaturas de secagem pode, por conseguinte, ser utilizado para melhorar as propriedades sensoriais de massas fortificadas (PETITOT, et al., 2010).

Segundo Petitot, et al., (2010), um aumento da temperatura de secagem de 55 °C a 90 °C não alterou o tempo ótimo de cozimento. No entanto, a perda por cozimento e absorção de água foi reduzida quando a temperatura de secagem foi aumentada. Alta temperatura de secagem promove a agregação de proteínas e leva a uma forte rede de proteína e grânulos de amido, impedindo a lixiviação de amilose na água de cozimento e, assim, diminui a viscosidade (PETITOT, et al., 2010).

A aplicação de alta temperatura de secagem no início do ciclo de secagem não melhora a qualidade de cozimento da massa devido à desnaturação tanto da proteína do glúten quanto da gelatinização do amido. Os melhores resultados são obtidos através da aplicação de uma baixa temperatura de secagem preliminar para reduzir a humidade da massa, seguido de uma alta temperatura de secagem (BAIANO, CONTE, NOBILE, 2006).

3.6.2. Qualidade do macarrão

O comportamento das massas alimentícias durante e após cozimento é o parâmetro de qualidade de maior importância para os consumidores desse produto em todo o mundo. Além do sabor e do odor, estão incluídos nestes parâmetros o tempo de cozimento, a quantidade de água absorvida, e as propriedades reológicas da massa (espalhamento, textura e volume). (ORMENESE, 2002).

A variação na qualidade de cozimento das massas é devido, em parte, pela quantidade de proteína presente em amostras de sêmola e em parte pelas características intrínsecas destas proteínas. Há um consenso geral de que o conteúdo de proteína é o principal fator a influenciar a qualidade da massa e força de glúten que é um fator secundário importante. Outros componentes, como amido e enzimas, também podem desempenhar um papel importante na determinação da qualidade de cozimento (GULER, KOKSEL, NG, 2002).

Em macarrão, as proteínas e a semolina estão ligados entre si por pontes dissulfeto, pontes de hidrogênio e ligações hidrofóbicas para formar uma matriz, que dá ao macarrão cozido suas propriedades viscoelásticas. A continuidade e resistência da matriz de proteína depende da natureza inter e intramolecular. Durante o processo de cozimento esta matriz desintegra-se gradualmente, libertando exsudados durante a gelatinização dos grânulos de amido, o que por sua vez contribui para um aumento da coesão e aderência na superfície da massa cozida (FOSCHIA, et al., 2015).

A inclusão de fibra dietética na massa pode alterar negativamente a tenacidade do produto, que afeta a integridade da proteína na rede de glúten e, conseqüentemente, a absorção de água, aumento de volume, tempo de cozimento, perda por cozimento, textura, aparência e gosto (FOSCHIA, et al., 2015).

As massas alimentícias, quando incorporadas com ingredientes não-tradicionais apresentam comportamentos tecnológicos como absorção de água, aumento de volume, tempo de cozimento ótimo, perda de sólidos, textura, aparência e gosto diferente do esperado, quando elaborada apenas de sêmola (FOSCHIA et al., 2013, PENA et al., 2014). O grau de rigidez, firmeza, absorção de água e perda de sólidos em massas alimentícias são indicadores de qualidade importantes para determinação da porcentagem de incorporação aceitável para alcançar o equilíbrio nutricional e tecnológico (GIMENEZ et al., 2012).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Materiais

O experimento foi conduzido no laboratório de panificação da Universidade Estadual de Feira de Santana. O farelo de milho foi doado pela indústria de alimentos Moinho Tabajara LTDA. A farinha de trigo da marca Sarandi, foi doada pelo Moinho de Trigo Indígena S.A. Os demais ingredientes foram adquiridos no mercado local de Feira de Santana.

4.1.1. Homogeneização da matéria-prima

Visando a homogeneização da granulometria do farelo de milho, foi feita a trituração, usando um moinho de faca tipo Willey, modelo TE 651 da tecnal, com peneira de 20 mesh de abertura.

4.1.2. Tratamento Térmico da matéria-prima

O farelo de milho triturado foi submetido ao tratamento térmico em autoclave a 121°C e 1,0 kgf/cm², durante 20 minutos, segundo Kim, Chun e Lim (2014). O farelo de milho tratado termicamente (FCTT) foi acondicionado em saco de polietileno a temperatura ambiente, 27 ± 2 °C até o estudo da vida de prateleira e desenvolvimento do produto.

4.2. Metodologia

4.2.1. Classificação granulométrica

A distribuição granulométrica do farelo de milho foi determinada por meio de equipamento da marca Mogi Glass equipado com conjunto de seis peneiras arredondadas, com aberturas da malha de 28, 35, 65, 115, 250 mesh e o fundo, segundo método 66-20 da AACC (AACC, 2000). Foram peneiradas 100g da amostra durante 10 minutos. Em seguida, as quantidades retidas em cada peneira foram pesadas e expressas em porcentagens.

4.2.2. Análises físico-químicas

4.2.2.1. Umidade e atividade de água

O teor de umidade foi determinado em balança de infravermelho (BEL engineering), a uma temperatura de 90°C até a leitura da umidade não variar

mais de 0,1% em 60 segundos.. Três gramas da amostra foram pesados para realização da análise. A atividade de água (A_w) foi determinada em equipamento Aqualab Decagon 3TE.

4.2.2.2. pH e acidez titulável

pH foi medido usando um potenciômetro (Gehaka PG 1800) equipado com uma combinação de eletrodo de vidro e uma sonda de temperatura. (ANASE, SOVRANO, 2006). Dez gramas de amostra foram pesados e diluídos com 100 mL de água e agitados com agitador magnético. O pH da amostra foi medido com as partículas uniformemente suspensas. A acidez foi determinada por titulação. Uma grama da amostra foi pesada em um frasco erlenmeyer de 125 mL e adicionado 50 mL de água destilada. Foi adicionado 3 gotas da solução fenolftaleína e titulado com solução de hidróxido de sódio 0,1 M até obter uma coloração rósea. Os resultados foram expressos em acidez em solução milar % v/m (ADOLFO LUTZ, 2004). A porcentagem de acidez foi expressa através da equação a seguir:

$$acidez = \frac{V \times f \times 100}{P \times c}$$

Em que;

V = nº de mL da solução de hidróxido de sódio 0,1 ou 0,01 M gasto na titulação

f = fator da solução de hidróxido de sódio 0,1 ou 0,01 M

P = nº de g da amostra usado na titulação

c = correção para solução de NaOH 1 M, 10 para solução NaOH 0,1 M e 100 para solução NaOH 0,01 M.

4.2.2.3. Cinzas

A análise de cinzas foi realizada utilizando mufla a 550°C segundo método 01-08 da AACC (AACC, 2000). Duas gramas da amostra foi pesada em cadinho previamente calcinados em mufla em 550° C e pesados. As amostras foram incineradas até obter peso constante (diferença de 0,0005g). Os teores percentuais de cinzas foram obtidos através da equação a seguir:

$$\%Cinzas = \frac{100 \times F}{P}$$

Em que,

F = Massa da cinza (g)

P = Massa da amostra (g)

4.2.2.4. Lipídios

Lipídio foi determinado pelo método 30-25 da AACC (AACC, 2000) com extração em aparelho de soxhlet. Foram pesados 2 gramas de amostra em papel filtro e colocados em aparelho de soxhlet. A extração foi realizada com éter de petróleo durante 6 horas. Os balões com a gordura extraída, foram secos em estufa a 105° C por aproximadamente 1 hora. Os pesos dos balões foram registrados e calculado a porcentagem de lipídio na amostra. Os teores percentuais de lipídio foram obtidos através da equação a seguir:

$$\%Lipido = \frac{(R - B) \times 100}{P}$$

Em que,

R = Resíduo obtido no balão (g)

B = Resíduo do branco obtido no balão (g)

P = Massa da amostra inicial (g)

4.2.2.5. Proteína

O teor de nitrogênio foi estimado pelo método micro Kjeldhal e foi convertido em proteína utilizando fator 5,7 segundo método 46-10 da AACC (AACC, 2000). A princípio foi realizado digestão da amostra com ácido sulfúrico concentrado, onde 0,1 g da amostra foi pesada com 0,55 g de mistura catalítica em papel manteiga e aquecido até 350° C até o líquido ficar translúcido. O produto da digestão foi destilado em aparelho de Kjeldhal com hidróxido de sódio 40% e o produto da destilação foi coletado em erlenmeyer de 100 mL contendo 20 mL de solução de ácido bórico 4%, 4 gotas de vermelho de metila e 6 gotas de verde de bromocresol, o qual foi titulado com HCl 0,01 M. Os teores de proteína foi calculado em porcentagem. Os teores percentuais de proteína foram obtidos através da equação a seguir:

$$\%Proteína = \frac{V \times N \times F \times 0,014 \times 100 \times F'}{P}$$

Em que,

V = Volume de HCl gasto na titulação (mL)

N = Normalidade do HCl

F = Fator de correção do HCl

F' = Fator de conversão de nitrogênio

P = Massa da amostra (g)

4.2.2.6. Fibra alimentar

Os teores de fibra alimentar solúvel (FAS), fibra alimentar insolúvel (FAI), e fibra alimentar total (FAT) foram determinados pelo método enzimático-gravimétrico de acordo com AOAC (2000).

4.2.2.6.1. Preparo dos cadinhos filtrantes de porosidade nº2

Os cadinhos foram lavados com água destilada e detergente extran e secados ao ar livre e temperatura ambiente. Em seguida foram colocados em mufla a 550° C por 1h e resfriados em dessecador por 1 h para pesagem dos mesmos. Foi adicionado 0,5 g de celite e colocados em estufa a 105 °C por 30 minutos. Resfriados novamente em dessecador e registrado suas massas. Os cadinhos ficaram armazenados no dessecador até o momento do uso.

4.2.2.6.2. Preparo de tampão fosfato 0,08M e pH 6,0

Foram dissolvidos 1,4g de Na₂HPO₄ e 8,4g de NaH₂PO₄ anidro em 700 mL de água e aferido em balão volumétrico de 1 litro. O pH foi verificado e se necessário ajustado com NaOH ou H₃PO₄.

4.2.2.6.3. Digestão enzimática das amostras

Foram pesadas 4 amostras de 1,0 ± 0,02 grama de farelo de milho em béquer de 250 mL. Foi adicionado em cada béquer 50 mL de tampão fosfato pH 6,0, agitado magneticamente e verificado o pH das soluções, sendo ajustados para pH 6,0 com NaOH 0,275 N ou HCl 0,375 N quando necessário. Logo após foi adicionado 0,1 mL de α-amilase e agitados em agitador magnético. Os

béqueres foram cobertos com papel alumínio e colocados em banho maria por 15 minutos depois que a temperatura interna dos béqueres atingiram 95°C com agitação suave em intervalos de 5 minutos. As soluções foram resfriadas a temperatura ambiente. Em seguida, foram ajustadas para pH $7,0 \pm 0,2$ mediante adição de 10 mL de NaOH 0,275. O pH foi verificado e quando necessário adicionado NaOH ou HCl. Imediatamente antes do uso, foi preparado uma solução de protease de 50mg/mL em tampão fosfato pH 6,0. A cada béquer foi adicionado 0,1 mL da solução de protease. Os béqueres foram novamente agitados magneticamente, cobertos com papel alumínio e levados ao banho maria com agitação contínua durante 30 minutos. As soluções foram resfriadas à temperatura ambiente e ajustado o pH entre 4,0 e 4,6 mediante adição de 10 mL de HCl 0,375 N. O pH foi verificado e quando necessário ajustadas com adição de NaOH ou HCl. Por fim, foi adicionado 0,1 mL de amiloglicosidade em cada béquer, agitado magneticamente, embrulhados com papel alumínio e colocados em banho maria com agitação contínua durante 30 minutos. As soluções foram resfriadas a temperatura ambiente.

4.2.2.6.4. Determinação de Fibra Alimentar Total (FAT)

Após o processo de digestão, foram adicionados 4 volumes de etanol a 95% em cada béquer. As soluções ficaram durante 10 a 12 horas à temperatura ambiente para precipitação total. Para o processo de filtração a vácuo, o celite foi distribuído uniformemente nos cadinhos e adicionando etanol a 78%. A solução foi filtrada e o resíduo lavado com resíduo com três porções de 20 mL de etanol a 78%, duas porções de 10 mL de etanol a 95% e duas porções de 10 mL de acetona. Os cadinhos filtrantes foram levados a estufa a 105°C até obter peso constante (em média 4 h). O resíduo de dois cadinhos foram utilizados para análise e cinzas e os outros dois para análise de proteínas. O branco foi dividido para análise de cinzas e proteínas. A metodologia para a análise de cinzas e proteínas podem ser visualizados nos itens 4.2.2.3 e 4.2.2.5 respectivamente.

4.2.2.6.5. Determinação de Fibras Insolúveis (FI)

Após digestão de uma nova amostra, a solução foi filtrada para extração das FAS e FAI, a solução foi filtrada a vácuo, lavando o resíduo com três porções

de 15 mL de água destilada. A solução coletada no kitassato foi transferida para outro recipiente e reservada para determinação das FAS. O resíduo do cadinho foi lavado com duas porções de 15 mL de álcool a 78%, álcool a 95% e acetona respectivamente. Em seguida, os cadinhos foram levados a estufa a 105°C até peso constante. Foi efetuado análises de cinzas e proteínas da mesma forma que procedeu-se com FAT.

4.2.2.6.6. Determinação de Fibras Solúveis (FS)

O filtrado armazenado da determinação das FAI foi utilizado para extração das FAS. Adicionou-se 3 vezes o volume obtido de etanol a 95%. Os béqueres foram cobertos com papel alumínio e colocados em banho maria a 70°C por 5 minutos para precipitação das FAS. Um período de 4 horas foi necessário para total precipitação. Em seguida, a solução foi filtrada a vácuo em cadinho poroso e o resíduo lavado com 2 porções de 15 mL de álcool 78%, álcool a 95% e acetona respectivamente. O resíduo foi seco em estufa a 105°C até obter peso constante. Do resíduo obtido, foi efetuado análises de cinzas e proteínas da mesma forma que procedeu-se com FAT. Os teores percentuais da FAT, FAI e FAS foram obtidos através da equação a seguir:

$$\%Fibra = \frac{(Rt - P - C - Bt) * 100}{M}$$

Em que,

Rt = Média do resíduo da amostra(mg)

P = Média da proteína do Resíduo(mg)

C = Média de Cinzas do Resíduo (mg)

M = Média do peso das amostras (mg)

Bt = Rt_B - P_B - C_B

Rt_B = Média do resíduo do Branco(mg)

P_B = Média da proteína do Rt_B(mg)

C_B = Média de Cinzas do Rt_B (mg)

4.2.2.7. Carboidratos

O teor de carboidrato foi determinado por diferença dos demais constituintes (carboidratos = 100 - proteína - lipídios - cinzas - fibra total) segundo Instituto Adolfo Lutz, (2004).

4.2.3. Análise de cor

As análises de cor, dos farelos com e sem tratamento térmico (FCTT e FSTT) foram realizadas utilizando colorímetro Color Quest XE(Hunter Lab). Os valores de cor foram expressos como L^* , a^* e b^* . A diferença colorimétrica (ΔE^*) foi calculada pela equação.(KIM, CHUNG, LIM, 2014).

$$\Delta E = (\Delta L + \Delta a + \Delta b)^{1/2}$$

4.2.4. Determinação da vida de prateleira

4.2.4.1. Análise de ácidos graxos livres

Amostras de FCTT e FSTT foram armazenadas em sacos de polietileno fechados ao abrigo da luz, em temperatura ambiente na faixa de 27 ± 2 °C e o desenvolvimento do teor de ácidos graxos livres (AGL) ao longo do tempo de armazenamento (0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 e 24 semanas) foi monitorado. O óleo foi extraído utilizando 40g da amostra, onde foram dispersos em 240 mL de *n*-hexano, deixando sob agitação magnética por 6h à temperatura ambiente. O extrato oleoso foi filtrado em filtro de papel, e a extração foi repetida adicionando 240 mL de *n*-hexano no resíduo retido por mais 6h. Após extração, evaporou-se o *n*-hexano usando um evaporador rotativo sob pressão reduzida a 40°C. (KIM, CHUNG e LIM, 2014). O teor de AGL foi determinado segundo Instituto Adolf Lutz (2004), onde 1 g da amostra do extrato oleoso foi dissolvido em 25 mL de uma solução éter etílico:álcool etílico (2:1, v / v), adicionado de 3 gotas de fenolftaleína e titulado com solução de NaOH (0,1 N). O teor de AGL foi calculado como equivalente de ácido oléico. Os teores percentuais de AGL foram obtidos através da equação a seguir:

$$\%A = \frac{V \times F \times 100 \times 0,0282}{P}$$

Em que,

V = Volume de NaOH gasto na titulação (mL)

F = Fator de correção do NaOH

P = Massa da amostra (g)

4.2.4.2. Análises microbiológicas

Amostras de FCTT e FSTT armazenadas à temperatura ambiente na faixa de 27 ± 2 °C foram avaliadas nos tempos 0, 30, 60, 90 e 105 dias quanto a *Bacillus cereus*, Coliformes a 45°C e *Salmonella sp* conforme preconizado pela resolução brasileira - RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001 para farelos de cereais (BRASIL, 2001). As análises de Coliformes totais e Coliformes a 45 °C foram realizadas pelo método do número mais provável de acordo com Vanderzant e Splittstoesser (1992). A análise de *Bacillus cereus*, foi realizada através de contagem em placa de acordo com Vanderzant e Splittstoesser (1992). Para essa análise, 25 gramas de FCTT e FSTT foram diluídas em 225 mL de água peptonada 0,1% e plaqueadas através de alça de Drigalski em meio ágar MYP (Bifco MYP – Manitol egg Yolk polimyxin) e realizado a contagem após 24h e 48h.

Para determinação de *Salmonella sp* seguiu o método BAM/FDA segundo Andrews e Hammack (1998). 25g de FCTT e FSTT foram diluídos em 225 mL de caldo lactosado, homogeneizados e colocados em BOD a 35°C por 24h. Em seguida, 0,1 mL foi transferida para caldo RV (Rappaport-Vassilidis Modificado) e 1 mL para (TT) caldo tetratoato, onde o caldo RV foi levado a banho maria a 42°C e o caldo TT incubado a 35°C, ambos por 24h. No dia seguinte, uma alçada de cada caldo foi transferido para ágar HE (Ágar Enterico de Hectoen) , XLD (Ágar Xilose Lisina) e BS (Ágar Bismuto Sulfito) os quais foram incubados a 35°C por 24h. Após esse período, foram selecionadas colônias típicas de *Salmonella* e transferido para tubos de LIA (Ágar Lisina Ferro) e TSI (Ágar Triplice Ferro) por estriamento. Após o período de incubação ocorrendo reação típica de salmonela nos tubos, uma alçada do tubo TSI foi transferido para caldo uréia. A presença de *Salmonella* ocorre pela mudança de coloração do caldo uréia.

4.2.4.3. Análises micotoxicológicas

Análises de aflatoxina, fumonisina e zearalenona foram realizadas com FCTT e FSTT conforme Resolução - RDC Nº 7, de 18 de fevereiro de 2011 que dispõe sobre limites máximos tolerados (LMT) para micotoxinas em alimentos (BRASIL, 2011). O teste foi realizado após 105 dias de armazenamento a temperatura ambiente na faixa de 27 ± 2 °C, em Kit de diagnóstico rápido de micotoxina Quick Scan AQ-111 BG segundo metodologia do fabricante (Envirologix).

4.2.5. Análise das propriedades reológicas das misturas

Diferentes concentrações de farelo de milho tratado termicamente (FCTT) (5, 10, 15, 20, 25 e 30%) além do padrão (0%) foram incorporados à farinha de trigo e as amostras foram avaliadas quanto às propriedades farinográficas, em Farinógrafo Brabenderde acordo com o método 54-21 AACC (2000). Os parâmetros medidos foram absorção de água, tempo de partida, tempo de desenvolvimento da massa, tempo de chegada, estabilidade e índice de tolerância da mistura.

As propriedades elásticas das amostras foram determinadas em texturômetro TA.XT.plus, com o acessório A/KIE conforme descrito no método DOUI/KIE e com auxílio do software Exponent Stable Micro Systems (SMS, 1995). Os parâmetros do teste foram: velocidade do pré-teste = 2,0mm, velocidade do teste = 3,30mm, velocidade do pós-teste = 10mm, distancia = 75mm e força do gatilho = 25g (BAGDI et al., 2014). Os parâmetros estudados foram resistência à *extensão* (*R*), extensibilidade (*E*), energia (Área) e proporcionalidade da curva (*R/E*).

O comportamento viscoelástico das amostras foi determinado pelo teste de alveografia usando um alveógrafo Chopin segundo o método usado por Wang, Rosell e Barber (2002). Os parâmetros avaliados foram tenacidade (*W*), resistência à extensão (*P*), extensibilidade da massa (*L*), índice de intumescimento (*G*) e a relação de configuração curva da massa (*P/L*).

4.2.6. Incorporação de farelo de milho em macarrão seco tipo talharim

4.2.6.1. Preparação da massa

As massas foram preparadas com diferentes concentrações de farelo de milho (5, 10, 15, 20, 25 e 30%) além da formulação padrão (0%). Foram incorporadas em todas as formulações sal, óleo e água nas quantidades de 0,5%, 2% e 32% respectivamente. Os pós foram pré-misturados por 1 minuto e logo em seguida, foram acrescentados o óleo e a água continuando a homogeneização por mais 2 minutos. A massa foi então extrusada e cortada em extrusora Indiana série 372707 com trefila para talharim (Figura 9). As massas foram colocadas em varetas de aço inox para serem penduradas na câmara de secagem (Figura 10).

Figura 9: Massa sendo extrusada em extrusora Indiana série 372707 com trefila para talharim



Figura 10: Massa de macarrão em varetas de aço inox penduradas na câmara de secagem



4.2.6.2. Processo de secagem da massa

O processo de secagem foi realizado de acordo metodologia de Ormenese, et al., (2001) modificada. A secagem foi realizada à alta temperatura em secador, vertical com circulação de ar com velocidade média de 3m/s (Figura 11). As condições de tempo e temperatura utilizadas nos processos estão descritas na Tabela 4. Entre cada fase de secagem, houve uma parada de 15 minutos para equilíbrio de umidade. Nesse sentido o sistema de aquecimento do secador foi desligado, mantendo-se apenas a ventilação. Ao final do processo a ventilação e o aquecimento foram desligados e a massa foi retirada do secador após 1 hora.

Figura 11: Secador vertical com circulação de ar



Tabela 4: Condições do processo de secagem empregadas para macarrão tipo talharim

Fase	Temperatura (°C)	Tempo (min)
1	90	90
2	62	30
3	50	15

4.2.6.3. Análises de umidade e atividade de água do macarrão seco

O teor de umidade foi determinado em balança de infravermelho (BEL engineering), a uma temperatura de 90°C. A resposta da umidade era dado quando não havia variação maior que 0,1% durante 60 segundos. Onde 3

gramas da amostra foi pesado para realização da análise. A atividade de água (Aw) foi determinada em equipamento Aqualab.

4.2.6.4. Teste de cozimento

O teste de cozimento foi realizado com o objetivo de estimar a qualidade do macarrão. Assim, foram realizados os testes de tempo de cozimento, absorção de água, aumento de volume e perda de sólidos, os quais estão descritos a seguir.

4.2.6.4.1. Tempo de Cozimento

O tempo de cozimento foi determinado de acordo com o método AACC 66-50 (AACC, 2000) com modificações. Foram colocados 10 g da amostra em 400 ml de água em ebulição, marcando-se o tempo. Em intervalos de tempo de 10 segundos, retirava-se um pedaço da amostra, prensando-a entre duas lâminas de vidro, a fim de observar o desaparecimento do núcleo branco (total gelatinização do amido), que indica o final do tempo de cozimento (Figura 12).

Figura 12: Amostra sendo prensada entre duas lâminas de vidro e observação do núcleo branco



4.2.6.4.2. Absorção de água

A absorção de água é caracterizada pelo aumento de peso durante o cozimento. 10 gramas de macarrão foram colocados em 400 mL de água em ebulição e cozidos pelo tempo ótimo de cozimento. Em seguida, drenou-se o macarrão, durante 3 minutos, e os pesos foram registrados. O rendimento de cozimento ou coeficiente de absorção de água foi calculado como a relação de massa antes e após o cozimento (NIU, et al., 2014).

4.2.6.4.3. Aumento de Volume

Mediu-se, numa proveta graduada de 250 ml, o volume de querosene deslocado por 10 g de macarrão, antes e depois do cozimento. O coeficiente de aumento de volume é dado por: volume de 1 grama do macarrão cozido/volume de 1 grama do macarrão cru (CRUZ, et al., 2004).

4.2.6.4.4. Perda de sólidos solúveis

A água resultante do cozimento, após o macarrão ter sido escorrido foi recolhida em uma proveta de 250 mL e anotado o volume. Em seguida, uma alíquota de 10 mL foi retirada e colocada em placa de petri previamente seca e tarada, a qual foi submetida em estufa a 105°C até peso constante. A perda de sólidos solúveis é dada pela porcentagem de sólidos solúveis presentes na água de cozimento e foi calculada como uma porcentagem do material de partida (calculado por base seca).

4.2.6.5. Análises de textura do macarrão

Cerca de 25 g macarrão seco foram cozidos em 500 mL de água fervendo até tempo ideal de cozimento. O macarrão foi escorrido em peneira de tela e enxaguado com água destilada a temperatura ambiente durante cerca de 10 segundos, de acordo com a metodologia de Chen, et al. (2011), ligeiramente modificado.

A análise de textura foi conduzido após 5 minutos desde o cozimento da massa. Para a análise de dureza e adesividade, o teste foi realizado em texturômetro TA.XT.plus, equipado com uma sonda cilíndrico P36 (cilindro de 36mm) utilizando os seguintes parâmetros: velocidade do pré-teste, teste e pós teste de 2mm/s, 60% de compressão. Foi utilizado três tiras de massa para cada análise, segundo Bagdi et al. (2014) com pequenas modificações.

Para a análise de firmeza e força de cisalhamento utilizou-se o texturômetro TA.XT.plus, com uma sonda de lâmina de faca. Os parâmetros utilizados para o testes foram: velocidade de teste de 0,17 mm/s, 10 mm/s velocidade de pós-teste, 4.5 mm de distância. Três tiras de massa foram colocados perpendicularmente sob a lâmina para cada análise (BAGDI, el al., 2014).

4.2.7. Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com três repetições.

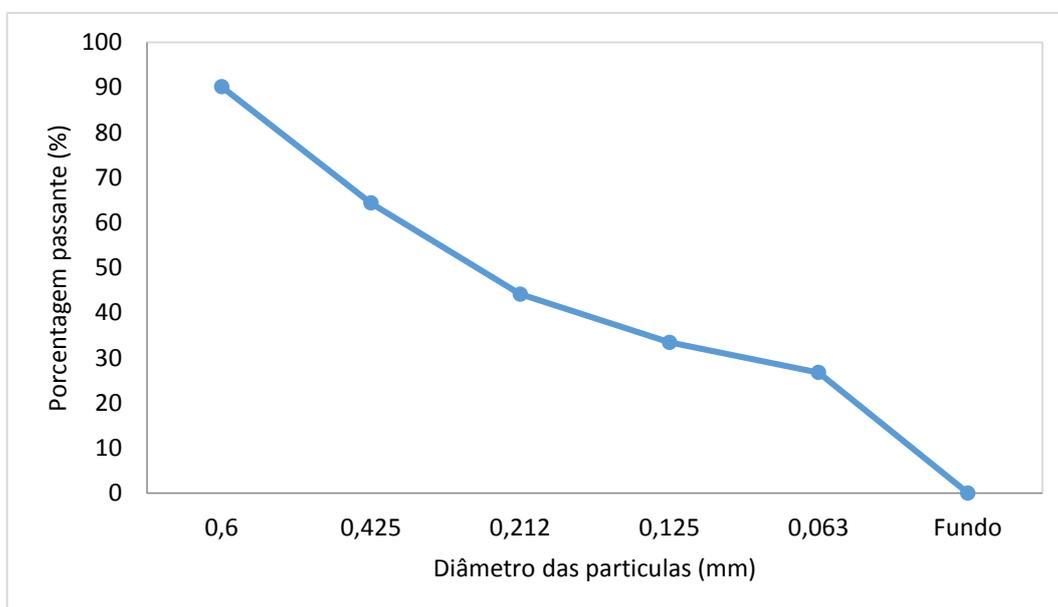
Os dados foram submetidos a análise de variância seguido por análise de regressão a 5% de probabilidade. As análises foram feitas utilizando o programa SAS (Statistical Analysis System) versão 9.1.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Classificação granulométrica

O tamanho das partículas é considerado um critério importante para as matérias-primas e um dos principais fatores que afetam a qualidade e o sabor dos produtos alimentares finais (SINGH, LIU, VAUGHN, 2012). A classificação granulométrica do FCTT foi realizada com a finalidade de caracterizá-la e pode ser visualizada na Figura 13.

Figura 13: Classificação granulométrica do farelo de milho termicamente tratado (FCTT)



Com relação ao tamanho das partículas da farinha de trigo, a Portaria N^o 354, de 18 de julho de 1996 – Norma técnica referente a farinha de trigo, 98% do produto deverá passar através de peneira com abertura de malha de 60 mesh (0,250 mm). Foi observado no presente estudo mais de 50% de FCTT passou pela peneira 60 ABNT (0,250 mm), que é a granulometria da farinha de trigo e de acordo com o comportamento gráfico pode-se dizer que a FCTT é homogênea. A uniformidade das partículas da farinha resulta em um produto de maior aceitabilidade, em especial com relação a textura.

Segundo Singh, Liu, Yaughn (2013), o tamanho das partículas de farelo de milho tem um efeito significativo sobre as propriedades de hidratação. A capacidade de retenção de água aumenta à medida que reduz o tamanho da

partícula de farelo de milho. Isto pode ser devido a danos na matriz das fibras e o colapso dos poros durante a moagem, bem como o aumento da superfície de contato. Está também relacionada com a estrutura da matriz porosa formada por cadeias de polissacarídeos que pode conter grandes quantidades de água por meio de ligações de hidrogênio (SINGH, LIU, VAUGHN, 2013). No entanto, Niu, et al. (2014) relata que em moagem superfina, ocorre danos no amido que se excessivo, a massa tende a fragmentar e a textura do macarrão torna-se menos firme.

5.2. Análises físico-químicas

Os resultados das análises físico-químicas de FCTT estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Comparativo dos resultados das análises físico-químicas de farelo de milho termicamente tratado (FCTT) com a composição centesimal da farinha de trigo segundo tabela Taco

Parâmetros	Farelo de milho	Farinha de trigo
Umidade (%)	9,50	13,0
Cinzas (%)	2,22	0,8
Proteína (%)	9,73	9,8
Carboidratos (%)	33,64	75,1
Gorduras totais (%)	9,37	1,4
Fibra total (%)	33,80	2,3
Fibra insolúvel (%)	27,30	-
Fibra solúvel (%)	6,50	-
Atividade de água	0,605	-
pH	6,98	-
Acidez	5,75	-

No trabalho de Casto et al. (2011) quando trabalhou com farelo de milho, foram encontrados $8,00 \pm 0,03$ para umidade, $3,54 \pm 0,04$ para cinzas $12,02 \pm 0,39$ para proteína, $17,74 \pm 0,33$ para gorduras totais e $28,90 \pm 1,90$ de fibra total, sendo $23,70 \pm 1,10$ de fibra insolúvel e $3,54 \pm 0,04$ de fibra solúvel. Naves, et al. (2011), encontrou 30g/100g de fibra em farelo de milho.

O teor de fibra total encontrado em FCTT foi superior ao descrito por Castro, et al. (2011). Segundo Portaria nº 27, de 13 de janeiro de 1998 são considerados alimentos ricos em fibras e pode ser considerado como alimento de alto teor de fibras aqueles que apresentam concentração superior a 6g/100g de fibra

alimentar (Brasil 1998). Assim, é possível afirmar que a FCTT é um produto rico em fibras, sendo composta em sua maior parte de fibras insolúveis.

Embora a maior parte da proteína de milho (75%) é obtida a partir do endosperma, é no germe que se encontram as proteínas com o melhor perfil de aminoácidos (NAVES et al., 2011). O FCTT, em estudo, possui 9,73% de proteínas, podendo agregar qualidade proteica a produtos destinados ao consumo humano, pois segundo Naves, et al. (2011), o perfil de aminoácidos essenciais de farelo de milho atende a boa parte das necessidades humanas de aminoácidos.

Para carboidratos, foram encontrados 33,64%. Embora o farelo seja composto basicamente de gérmen e pericarpo, esta quantidade de carboidratos no farelo pode ser originada de uma separação incompleta das estruturas do milho durante o processamento industrial, resultando numa fração de germe com pericarpo e fragmentos de endosperma.

Observando a tabela brasileira de composição de alimentos, (TACO) da farinha de trigo pode-se dizer que a mesma é um produto de baixo teor de fibra alimentar e rica em carboidratos. Assim, a utilização de farelo de milho em substituição parcial a farinha de trigo pode agregar valor nutricional ao produto final.

5.3. Análise de cor

Os resultados das análises colorimétricas do FCTT e FSTT estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6: Colorimetria do farelo de milho termicamente tratado(FCTT) e do farelo de milho sem tratamento térmico(FSTT)

Tratamento	Valores de cor			
	L	a*	b*	ΔE
FSTT	64,13	-3,24	25,06	
FCTT	49,31	-1,54	22,30	15,16

Os valores de cor (L^* , a^* e b^*) de FCTT e FSTT são mostrados na tabela 2. Todos os valores de cor (L^* , a^* e b^*) foram afetados pela aplicação de tratamento térmico. A luminosidade (L^*) do farelo de milho após o tratamento diminuiu. A vermelhidão (a^*) aumentou e o amarelecimento (b^*) diminuiu. O valor

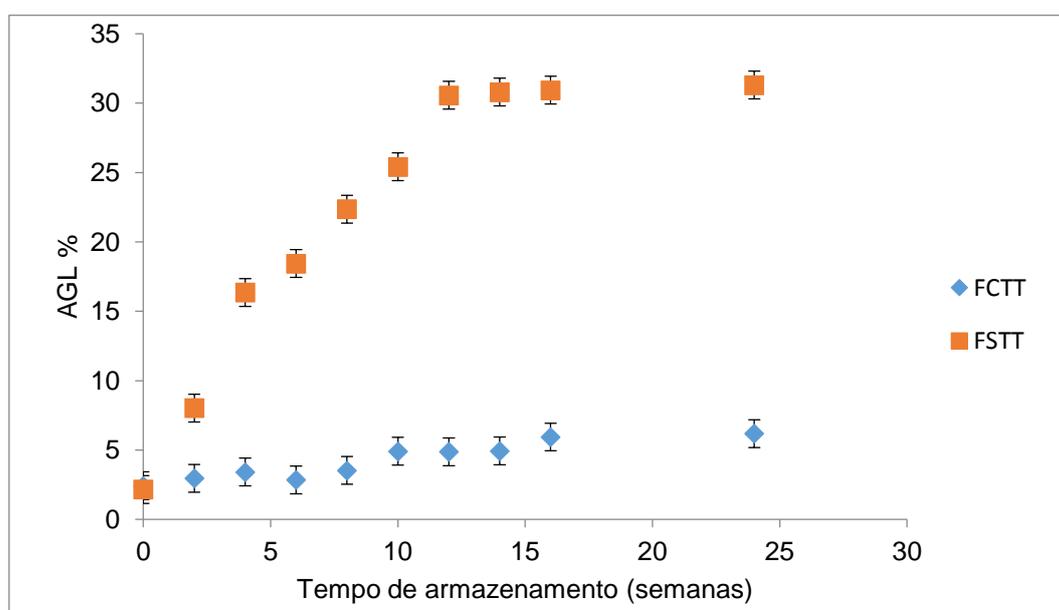
de ΔE , expressa como um valor único na diferença de cor L^* , a^* , e b^* , foi de 15,16. Da mesma forma, a redução de brilho (L^*) e aumento da vermelhidão (a^*) de farelo de arroz aplicado o mesmo tratamento térmico foi relatado por Kim, Chung, Lim (2014). Este resultado pode ser devido à formação de vários produtos da reação de Maillard induzida pelo tratamento térmico.

5.4. Determinação de vida de prateleira

5.4.1. Ácidos graxos Livres (AGL)

O conteúdo de AGL da FCTT tal como da amostra de FSTT durante 24 semanas de armazenamento são apresentados no Figura 14. O teor de AGL aumentou continuamente à medida que o tempo de armazenamento aumentou. Na FCTT de 2,48% para 6,41% e na FSTT de 2,16 para 31,08. O aumento do teor de ácidos graxos livres na amostra de FSTT foi muito maior do que para a amostra de FCTT, indicando que o tratamento foi eficaz no retardamento da degradação enzimática.

Figura 14: Teor de ácidos graxos livres (AGL) em farelo de milho tratado termicamente (FCTT) e farelo de milho sem aplicação de tratamento térmico (FSTT) durante 24 semanas de armazenamento a temperatura ambiente



A estabilização da farinha, por inativação das enzimas residuais é crítica para utilização no consumo humano. O teor de AGL em FSTT foi maior que 5%

após uma semana de armazenamento. O mesmo foi observado em estudos feitos com farelo de arroz por Kim, Chung, Lim (2014). O teor de AGL de 5% ou inferior é desejável, mas valores maiores do que 5% de AGL é considerado impróprio para consumo humano (Kim, Chung, Lim, 2014). Neste trabalho a FCTT é desejável para consumo humano até 14 semanas de armazenamento com 4,868 de AGL.

5.4.2. Análise microbiológica

Os resultados das análises microbiológicas de FCTT e FSTT encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7: Análise microbiológica de farelo de milho tratado termicamente (FCTT) e farelo de milho sem aplicação de tratamento térmico (FSTT) durante 105 dias de armazenamento a temperatura ambiente

Microrganismos	Amostras	Tempo de armazenamento (dias)				
		0	30	60	90	105
<i>Coliformes totais (NMP/g)</i>	FCTT	<3	<3	<3	<3	<3
	FSTT	93	43	150	240	460
<i>Coliformes a 45°C (NMP/g)</i>	FCTT	<3	<3	<3	<3	<3
	FSTT	<3	<3	<3	<3	<3
<i>Bacillus cereus/g</i>	FCTT	1,0x10 ¹	<1,0x10 ¹	1,0x10 ¹	<1,0x10 ¹	<1,0x10 ¹
	FSTT	1,0x10 ¹	<1,0x10 ¹	<1,0x10 ¹	<1,0x10 ¹	<1,0x10 ¹
<i>Salmonella sp/25g</i>	FCTT	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*
	FSTT	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*

ND* = Não detectado

As análises de *Coliformes a 45 °C* e *Salmonella sp* mostraram que não há presença destes microrganismos nas FCTT e FSTT armazenadas a temperatura ambiente ao longo de 105 dias. Porém, mesmo não sendo preconizado pela legislação brasileira, foram realizadas análise de *Coliformes totais* em farelo de cereais, com intuito de se conhecer as condições higiênico sanitária das amostras. As análises foram realizadas durante o armazenamento e pode-se observar que na FCTT não houve crescimento de *Coliformes totais*, porém em FSTT foi observado a presença crescente desse microrganismo durante os 105 dias de armazenamento, ficando evidente o efeito positivo do tratamento térmico aplicado ao farelo de milho.

Todas as amostras de farelo (FCTT e FSTT) apresentaram ausência para *Salmonella sp*, durante todo período de armazenamento e para análise de *Bacillus cereus*, observou-se que todas as análises apresentaram resultados menores do que o estabelecido pela resolução brasileira (BRASIL, 2001) para as duas amostras (FCTT e FSTT) durante todo período de armazenamento. Segundo análises microbiológicas realizadas, pode-se dizer que FCTT e FSTT encontra-se com qualidade microbiológica adequada para consumo humano dentro do prazo de 105 dias de armazenamento a temperatura ambiente.

5.4.3. Análise micotoxicológica

Os resultados da análise micotoxicológica FCTT e FSTT estão apresentados na Tabela 8:

Tabela 8: Análise micotoxicológica de farelo de milho com tratamento térmico (FCTT) e farelo de milho sem tratamento térmico (FSTT) após 105 dias de armazenamento.

Amostras	Micotoxinas		
	Aflatoxina B e G (ppb)	Fumonizina B ₁ e B ₂ (ppm)	Zearalenona (ppb)
FCTT	4,9	0,85	140
FSTT	6,5	0,87	88

Os resultados encontrados para as micotoxinas analisadas estavam abaixo do preconizado pela legislação brasileira através da RDC Nº 7, de 18 de fevereiro de 2011 para produtos a base de milho, que preconiza níveis de 20, 2500 e 300 ppb de aflatoxina, fumonisina e zearalenona respectivamente. No trabalho de Wang et al. (2013) foram encontrados valores para zearalenona entre $18,5 \pm 1,1$ a $188,3 \pm 9,8$ ppb e para fumonizina entre $69,3 \pm 3,9$ a $145,3 \pm 7,6$ ppb quando analisou diferentes amostras de grãos de milho através do teste de ELISA. Zhang et al. (2016) quando trabalhou com desenvolvimento de um método sensível e específico para a determinação quantitativa de aflatoxina B₁ em alimentos e produtos agrícolas detectou valores entre 12,9 e 19 ppb em amostras de pó de milho contaminadas naturalmente. Já Schmidt et al. (2015) quando avaliou a composição química e a incidência de micotoxinas (aflatoxinas B₁, B₂, G₁ e G₂; zearalenona, ocratoxina A; deoxinivalenol; e as

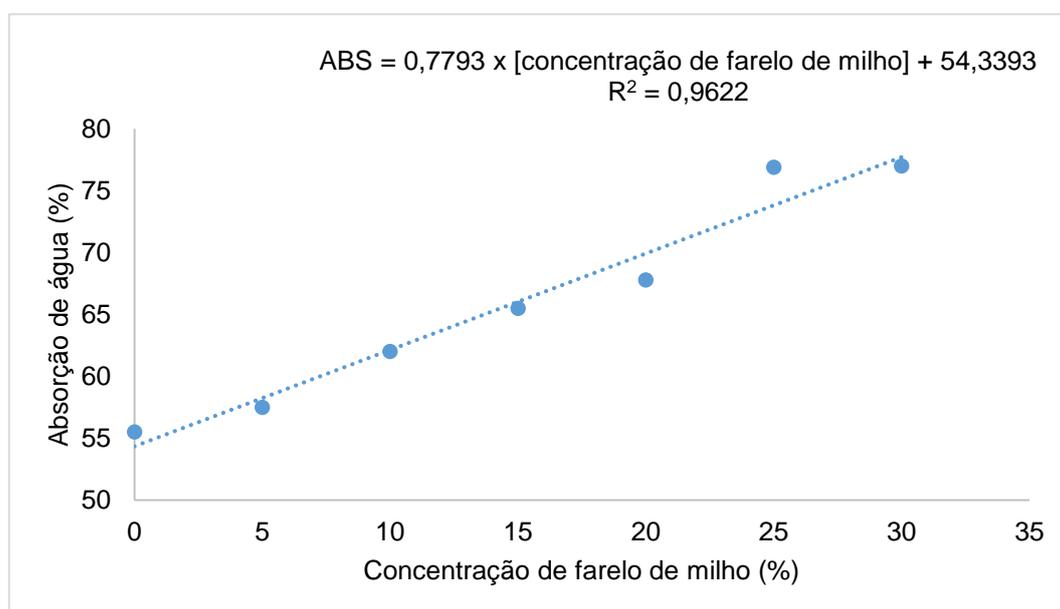
fumonisin B₁ e B₂) em silagem de milho a partir de 5 diferentes produtoras detectou micotoxinas em mais de 91% das amostras, com a zearalenona sendo o mais prevalente (72,8%), sendo em algumas regiões concentrações de $334 \pm 374 \text{ ug / kg}$ de zearalenona. Porém a incidência de aflatoxina foi baixa (0,92%). Por sua vez, Keller et al., (2013) ao avaliar contaminação de milho em silagem encontrou contaminação de fumonisina na faixa de $0,1-4,03 \text{ mg/g}^{-1}$ e de aflatoxina de $0,002-0,012\text{mg/g}^{-1}$.

5.5. Análises das propriedades reológicas da farinha de trigo

A incorporação de FCTT a 0%, 5% 10%, 15%, 20%, 25% e 30% provocou alteração nas propriedades de massa da farinha de trigo quando medido pelo Farinógrafo.

A adição de FCTT provocou aumento significativo de absorção de água ($p < 0,05$) na massa, como pode ser observado no Figura 15.

Figura 15: Absorção de água da massa elaborada com farelo de milho em diferentes concentrações.

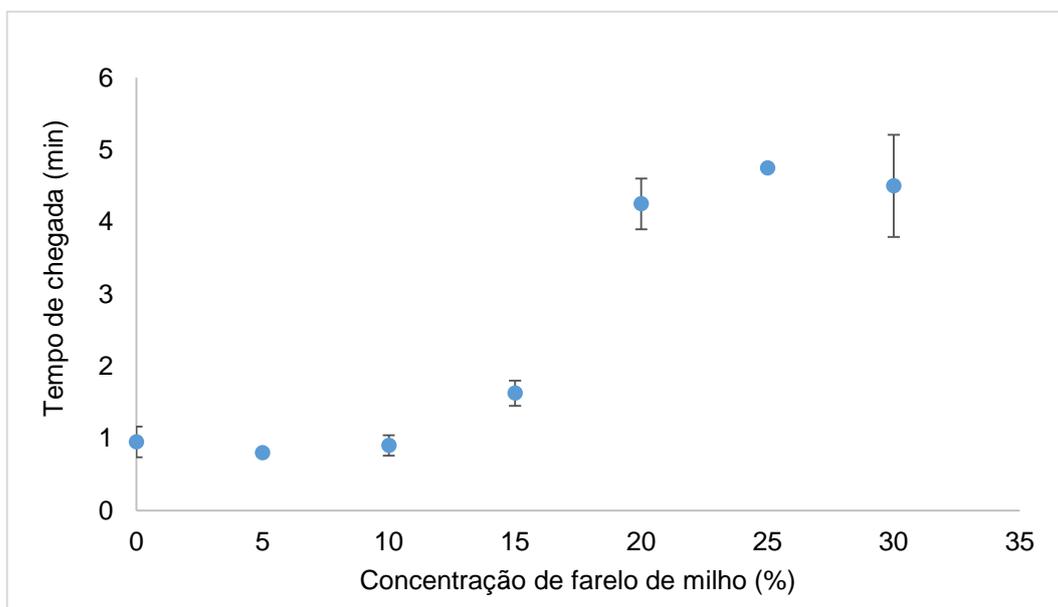


Efeitos semelhantes sobre a absorção de água foi observado por Sudha, Vetrmani, Leelavathi (2007); Wang, Rosell, Barber (2002) e Ktenioudaki, O'Shea, Gallagher (2013) quando trabalharam com farelo de cevada e farelo de trigo, fibra de ervilha e alfarroba e grãos de cevada passado e polpa de maçã

respectivamente. Sudha, Vetrmani, Leelavathi (2007a) relataram que as diferenças de absorção de água entre as amostras são causadas principalmente pelo maior número de grupos hidroxila que existem na estrutura de fibras e permite a absorção de mais água através da interação de ligação de hidrogênio.

Para tempo de chegada (TCH), não foi possível gerar um modelo matemático que o caracterizasse, podendo apenas dizer que TCH possui uma tendência de aumento quando incorporado FCTT à massa (Figura 16). Isto pode ser explicado pela absorção de água das partículas de fibra. A adição de frações de fibras também resulta em maior amolecimento e menor estabilidade da massa, indicando que a incorporação das frações de fibras levou a formação de uma rede de glúten mais fraca, o que é menos estável durante a mistura prolongada. Alternativamente, as fibras podem ter interferido com a proteína de glúten de reagregação durante a mistura, que por sua vez dificultada a recuperação de estruturas e desagregação acelerada induzida na rede de glúten (NOORT, et al., 2010).

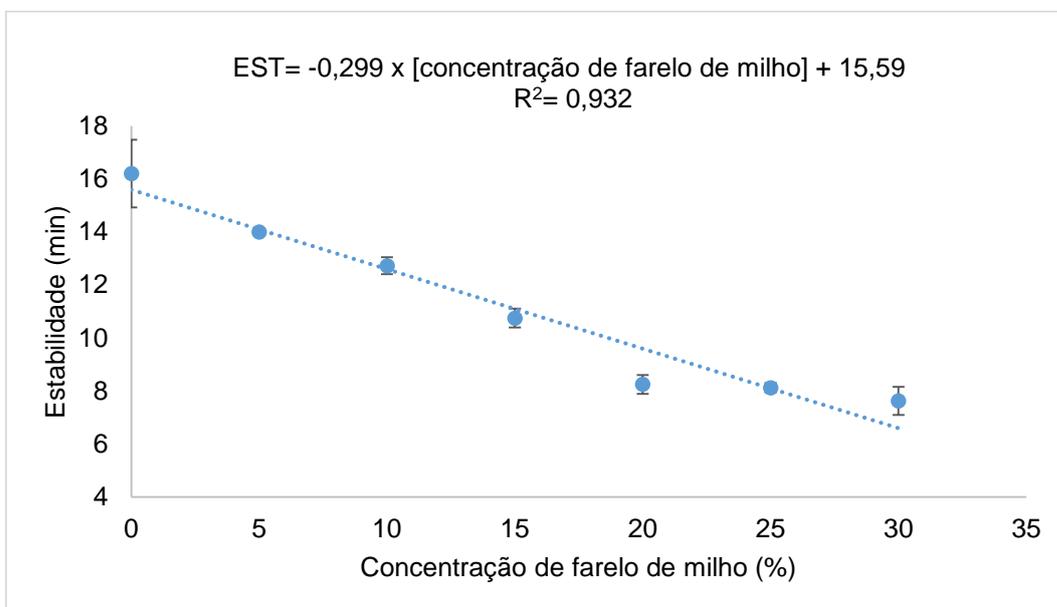
Figura 16: Tempo de chegada da massa elaborada com farelo de milho em diferentes concentrações



A equação apresentada na Figura 17 demonstra estatisticamente ($p < 0,05$) que a estabilidade da massa é reduzida linearmente à medida que aumenta a concentração de FCTT. Resultados parecidos foram observados por

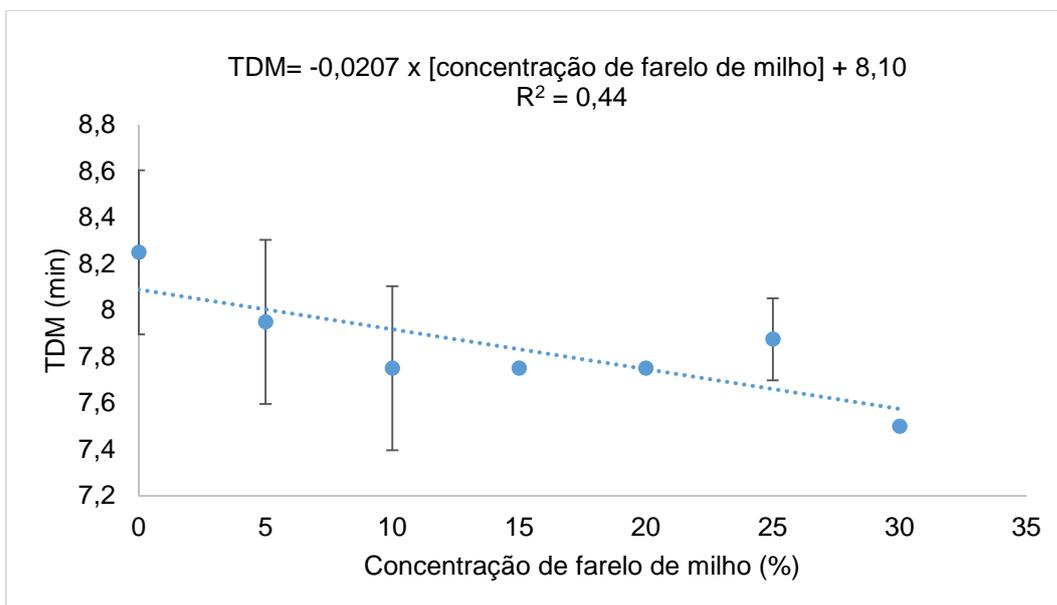
Sudha, Vetrinani, leelavathi (2007) para adição de farelo de aveia e farelo de cevada.

Figura 17: Estabilidade da mistura de farinha de trigo e farelo de milho em diferentes concentrações



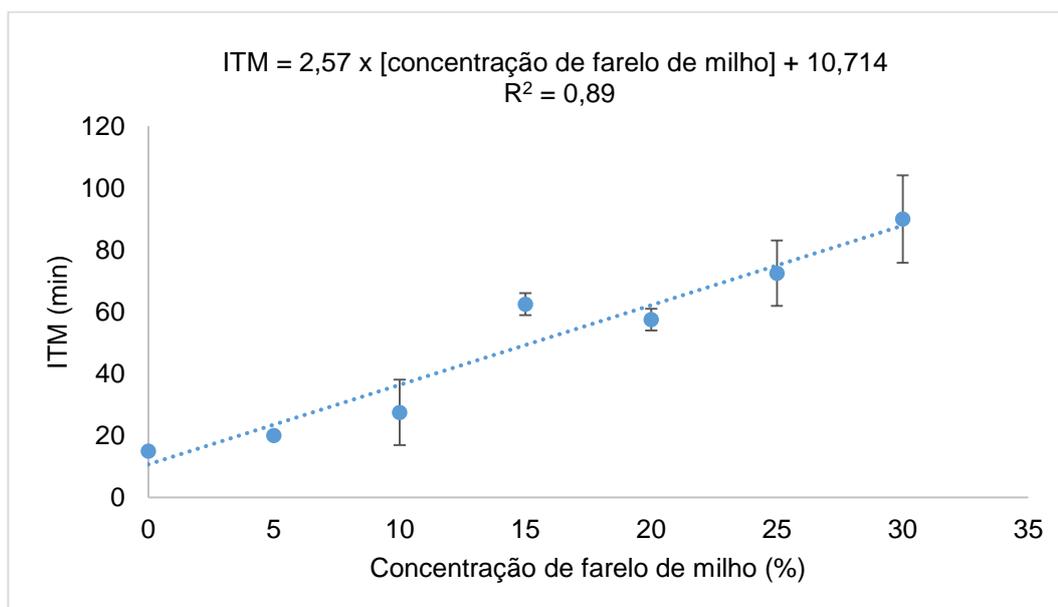
O tempo de desenvolvimento de massa (TDM) diminuiu significativamente ($p < 0,05$) com o aumento da concentração de FCTT como pode ser visualizado na Figura 18. No entanto, nos trabalhos realizados por Wang, Rosell, Barber (2002) e Delahaye, Jiménez, Pérez (2005), as fibras não modificaram o TDM da massa quando trabalharam com ervilha e alfarroba e farinha de arroz respectivamente.

Figura 18: Tempo de desenvolvimento da massa da mistura de farinha de trigo e farelo de milho em diferentes concentrações



Índice de tolerância a mistura (ITM) foi afetado com a adição de FCTT (Figura 19). Houve um aumento significativo ($p < 0,05$) de ITM a medida que foi adicionado FCTT, os valores aumentaram de 15 (amostra padrão com 0%) para 90 (amostra com 30%) de FCTT.

Figura 19: Índice de tolerância a mistura da massa elaborada com farinha de trigo e farelo de milho em diferentes concentrações



No estudo de Sudha, Baskaran, Leelavathi (2007a) também houve um aumento do ITM quando trabalhou com incorporação de bagaço de maçã em farinha de trigo. O aumento do ITM, de acordo com Sudha, Baskaran, Leelavathi (2007b) é devido a diluição da proteína do gluten com o teor de fibras. Isto também pode ser devido à interação entre os materiais fibrosos e glúten, o que afeta a massa.

A tenacidade ou resistência a massa para deformação (P) é uma capacidade da massa de reter gás. Não foi possível gerar um modelo para P, podendo dizer apenas que P possui tendência de aumento com a adição de FCTT (Figura 20). Segundo Wang, Rosell, Barber (2002), isto é provavelmente devido a interações entre a estrutura de fibras e as proteínas de trigo. A extensibilidade da massa (L) foi reduzida pela adição de FCTT ($p < 0,05$), como pode ser visto na Figura 21. Essa relação também foi observada por Wang, Rosell, Barber (2002) quando trabalhou com fibra de alfarroba e ervilha.

Figura 20: Tenacidade da mistura de farinha de trigo e farelo de milho em diferentes concentrações

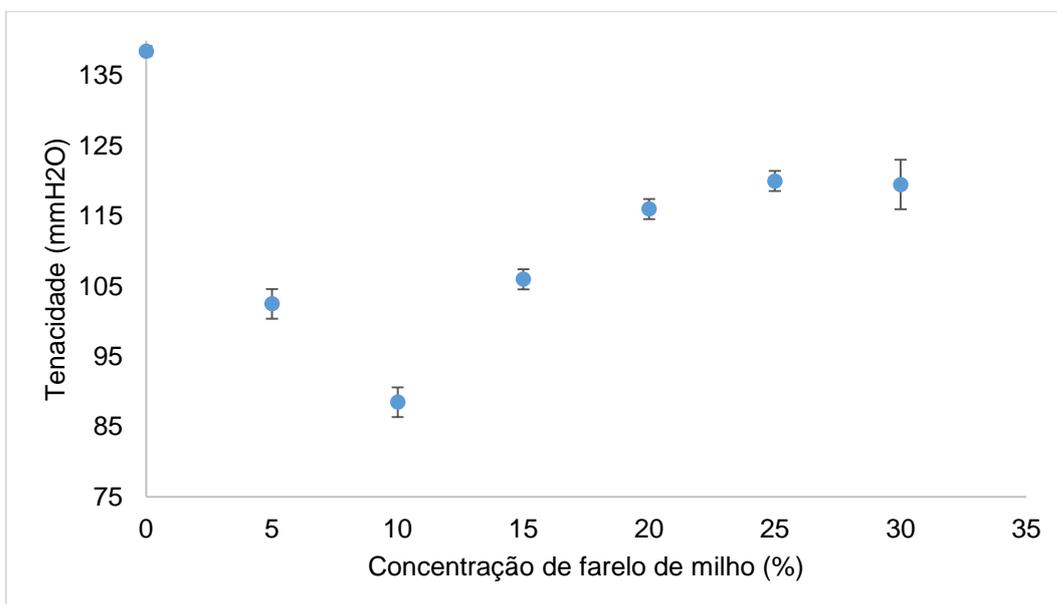
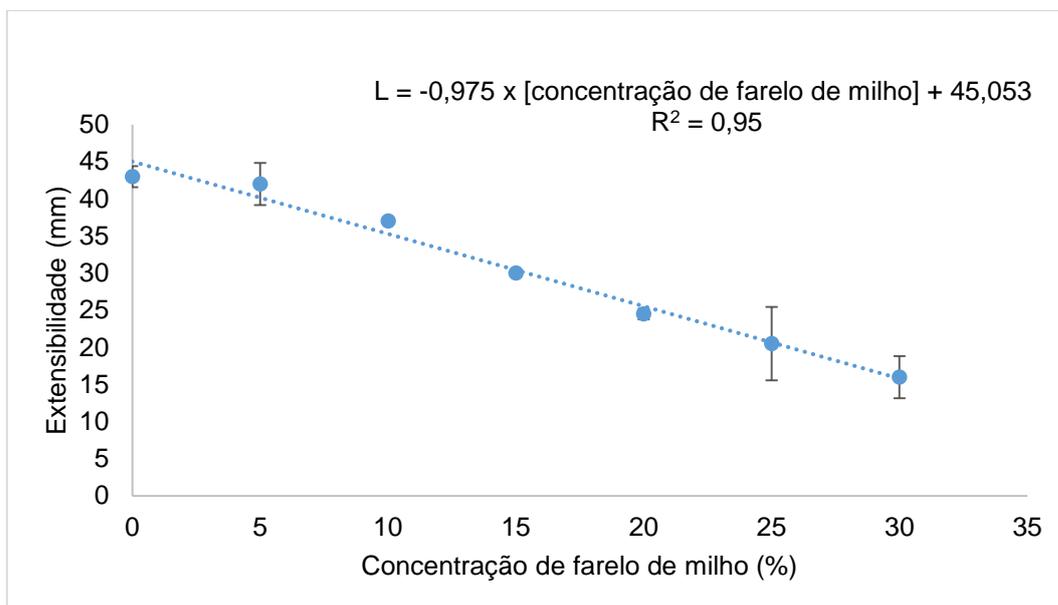


Figura 21: Extensibilidade da mistura de farinha de trigo e farelo de milho em diferentes concentrações



O valor de (P/L), valor da relação, que fornece informações sobre a resistência e extensibilidade, foi afetado pela adição de FCTT. A adição de FCTT provocou aumento na *relação* (P/L) ($p < 0,05$), como pode ser visto na Figura 22. Relação semelhante foi observado por Wang, Rosell, Barber (2002) quando trabalhou com fibra de ervilha. O aumento de (P/L) provavelmente é devido ao elevado teor de celulose presente na fibra, o que favorece uma forte interação entre a fibra e as proteínas da farinha de trigo (WANG, ROSELL, BARBER, 2002). A energia de deformação (W) foi reduzida estatisticamente ($p < 0,05$) por adição de FCTT (Figura 23). A adição de fibras promove uma acentuada diminuição na degradação proteolítica (WANG, ROSELL, BARBER, 2002).

Figura 22: Relação Tenacidade/Extensibilidade (P/L) da mistura de farinha de trigo e farelo de milho em diferentes concentrações

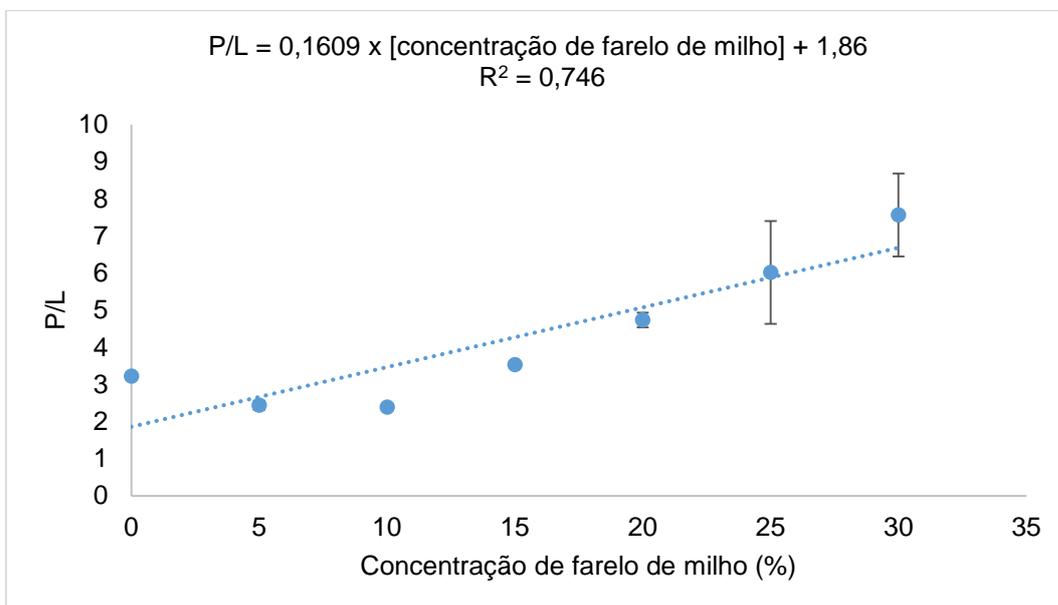
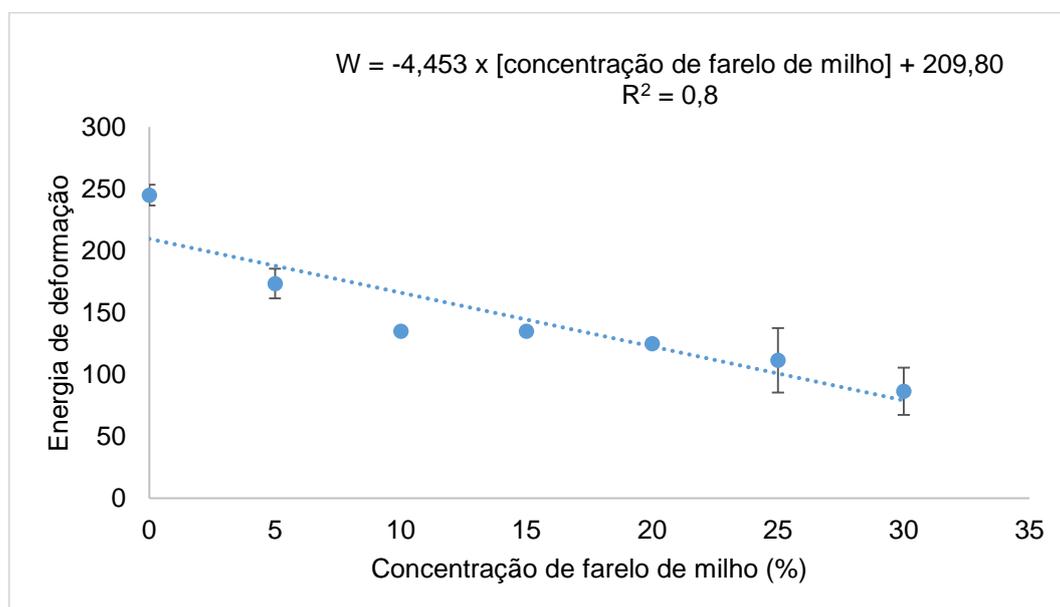


Figura 23: Energia de deformação da mistura de farinha de trigo e farelo de milho em diferentes concentrações



Análise extensográfica dá informações sobre o comportamento viscoelástico e mede L e R de uma massa. Uma boa combinação entre resistência e extensibilidade nas propriedades da massa é desejável (SAHA et al., 2011).

Com o aumento do teor de FCTT (0 a 30%), o valor de resistência à extensão (R) não foi alterada significativamente ($p < 0,05$) (Figura 24) e valores

de L diminuíram significativamente ($p < 0,05$) (Figura 25). Isto pode ser devido à diluição de proteínas de glúten ou interações entre polissacarídeos e proteínas a partir de farinha de trigo (SUDHA, BASKARAN, LEELAVATHI, 2007).

Figura 24: Resistência e extensão da mistura de farinha de trigo e farelo de milho em diferentes concentrações

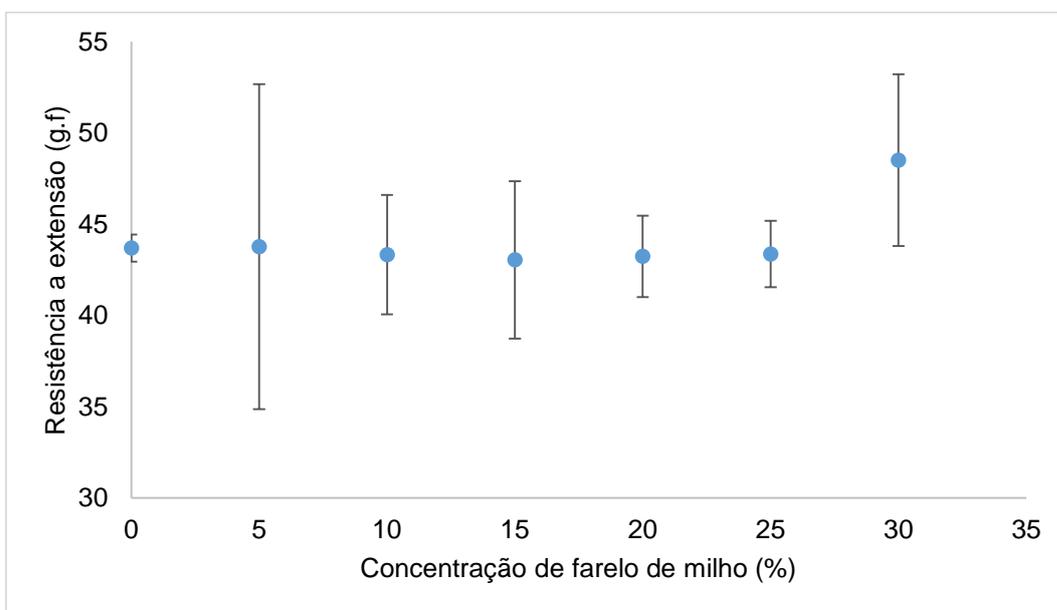
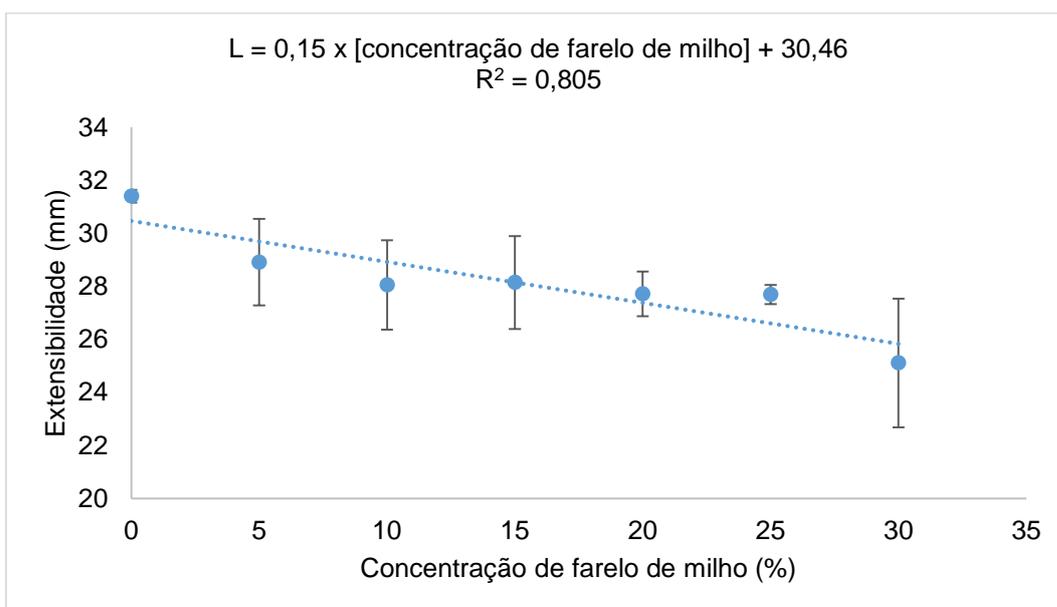


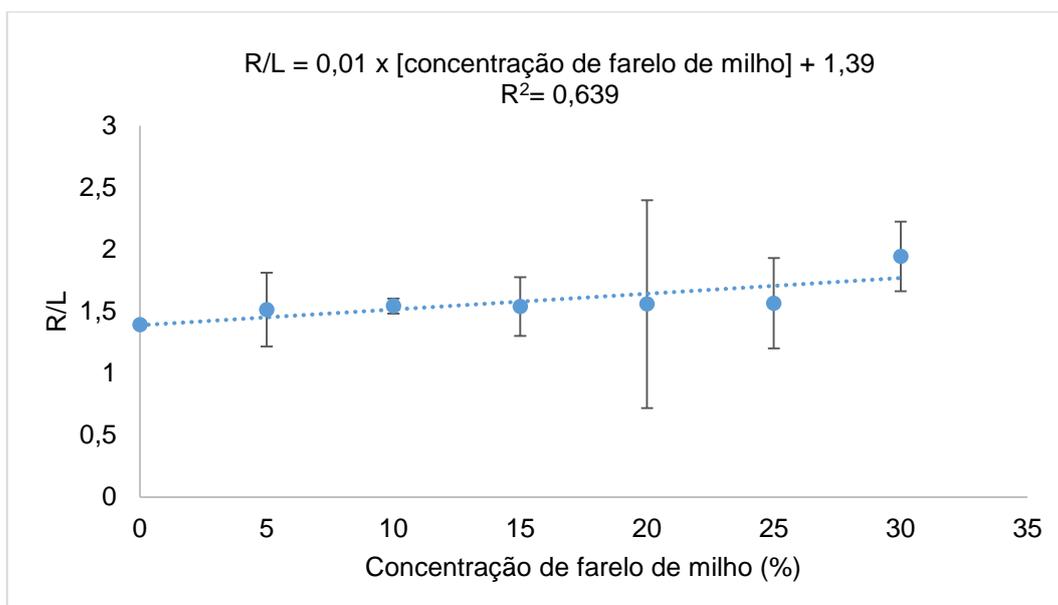
Figura 25: Extensibilidade da mistura de farinha de trigo e farelo de milho em diferentes concentrações



A relação R/L (Figura 26) aumentou estatisticamente ($p < 0,05$) a medida que foi adicionado FCTT, indicando que a massa tornou-se menos flexível e mais

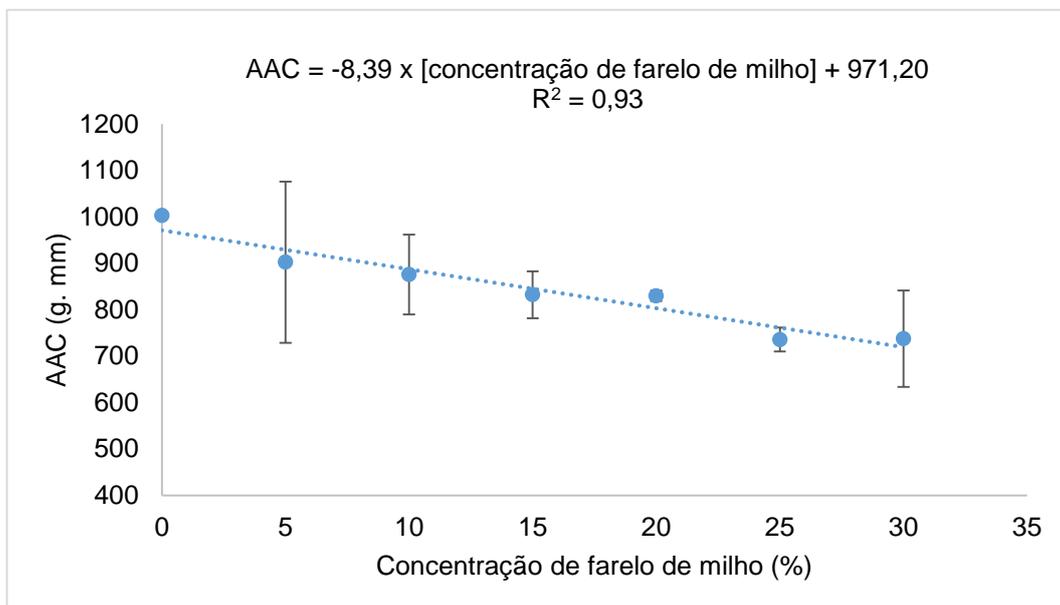
rígida com o aumento de concentração de FCTT. Aumento de R, diminuição de L e conseqüentemente aumento da relação R/L foi observado no trabalho de Sudha, Baskaran, Leelavathi (2007b), quando trabalhou com incorporação de fibra de bagaço de maçã em bolo.

Figura 26: Relação Resistência e extensão/Extensibilidade (R/L) da mistura de farinha de trigo e farelo de milho em diferentes concentrações



AAC foi reduzida significativamente ($p < 0,05$) com a adição de FCTT (Figura 27). Também foi observado por Ktenioudaki, O'Shea, Gallagher (2013) e Sudha, Vetrimani, Leelavathi (2007) uma redução da área abaixo da curva quando incorporou grãos de cerveja passado e bagaço de maçã em massa de pão e farelo de arroz, aveia e cevada respectivamente.

Figura 27: Área abaixo da curva da mistura de farinha de trigo e farelo de milho em diferentes concentrações

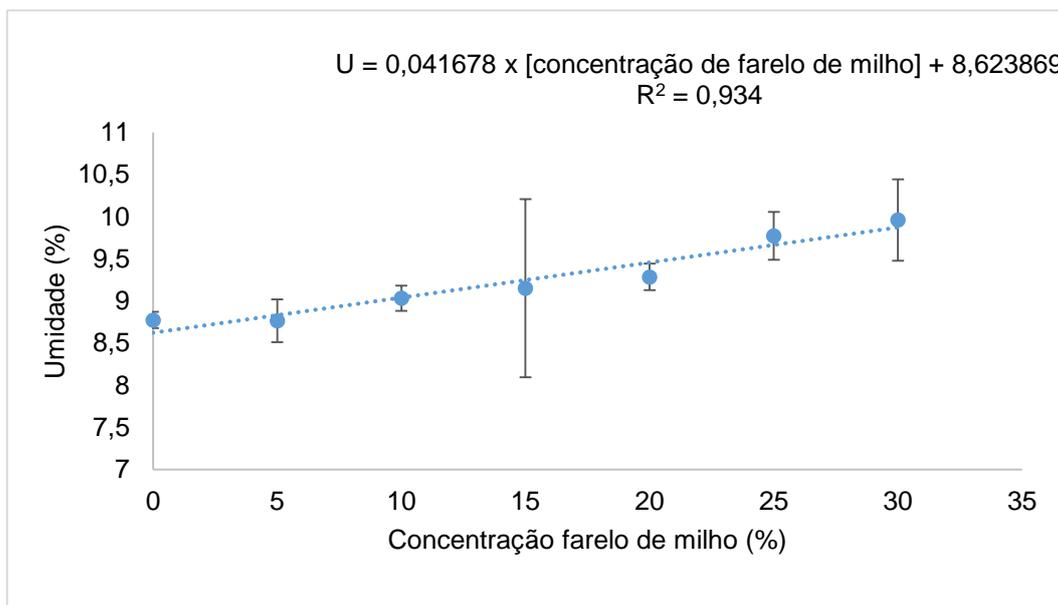


5.6. Incorporação de farelo de milho em macarrão seco tipo talharim

5.6.1. Umidade e atividade de água do macarrão

A umidade (U) do macarrão aumentou significativamente ($p < 0,05$) com a incorporação de farelo de milho (0 a 30%) como pode ser visto na Figura 28. Segundo Resolução - RDC nº 93, de 31 de outubro de 2000 (BRASIL, 2000) macarrão seco deve obter após o processo de secagem umidade máxima de 13,0% (g/100g).

Figura 28: Umidade do macarrão elaborado com diferentes concentrações de farelo de milho



Todas as formulações de macarrão, 0 a 30% de farelo de milho, apresentaram umidade inferior a 13% atendendo assim a RDC nº 93, de 31 de outubro de 2000 (BRASIL, 2000).

A atividade de água (A_w) não sofreu variação significativa ($p < 0,05$) com a adição de farelo de milho, obtendo A_w média de 0,59 e desvio padrão de 0,02.

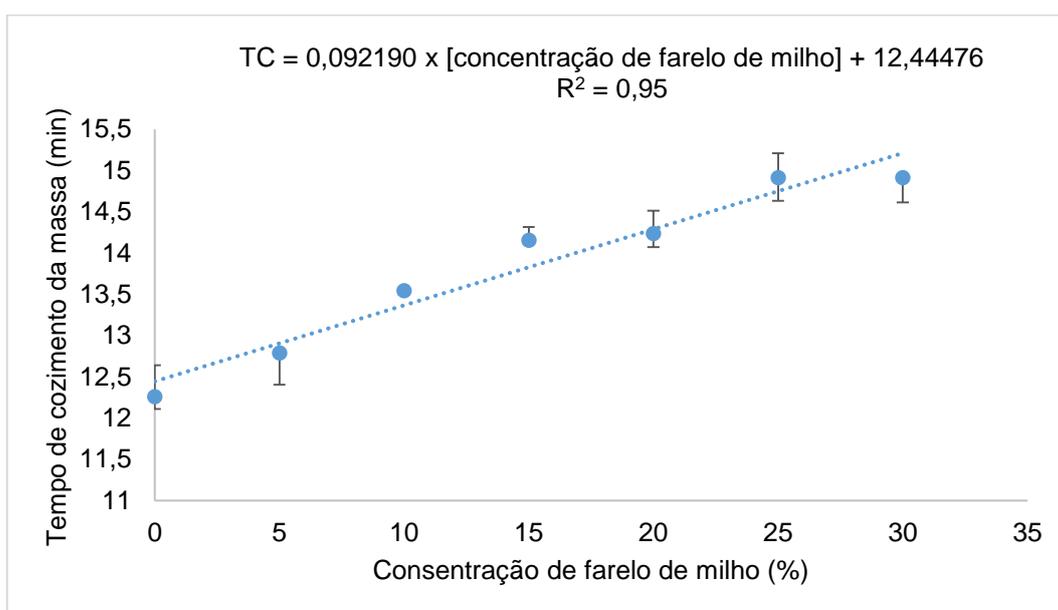
5.6.2. Efeito da incorporação de farelo de milho na qualidade de cozimento da massa

Índice de qualidade, tais como tempo de cozimento ótimo, absorção de água, aumento de volume e perda por cozimento foram utilizados como parâmetros de qualidade de massa.

O tempo de cozimento da massa aumentou significativamente ($p < 0,05$) a medida que foi adicionado farelo de milho (Figura 29). Chen, et al., 2011, quando estudou o efeito da adição de farelo de trigo na qualidade de macarrão chinês seco também observou um aumento linear no tempo de cozimento da massa a medida que foi adicionando farelo de trigo (0 – 20%). Foschia, et al. (2015) observou o mesmo efeito quando trabalhou com combinações de farelo de aveia, fibra psyllium, glucagel e inulina. Em contrapartida, a literatura também

apresenta uma diminuição do tempo de cozimento no aumento do nível de farinhas não convencionais, como no trabalho de Aravind, et al. (2012a) quando adicionou fibra dietética insolúvel em espaguete tipo duro. Petitot, et al. (2010), quando fortificou a massa com 35% de farinha de leguminosas com diminuição do tempo de cozimento ótimo (9.3 min para a massa de trigo duro de 8,7 min e 8,5 para ervilhas e feijão fava respectivamente) e Aravind, et al. (2012b) com fibra dietética solúvel de inulina. Este comportamento pode ser associado à formação de uma rede de glúten mais fraco como o resultado de um efeito de diluição em glúten (FOSCHIA, et al., 2015). Além da competição da absorção de água entre o glúten, o amido e a fibra dificultando o cozimento.

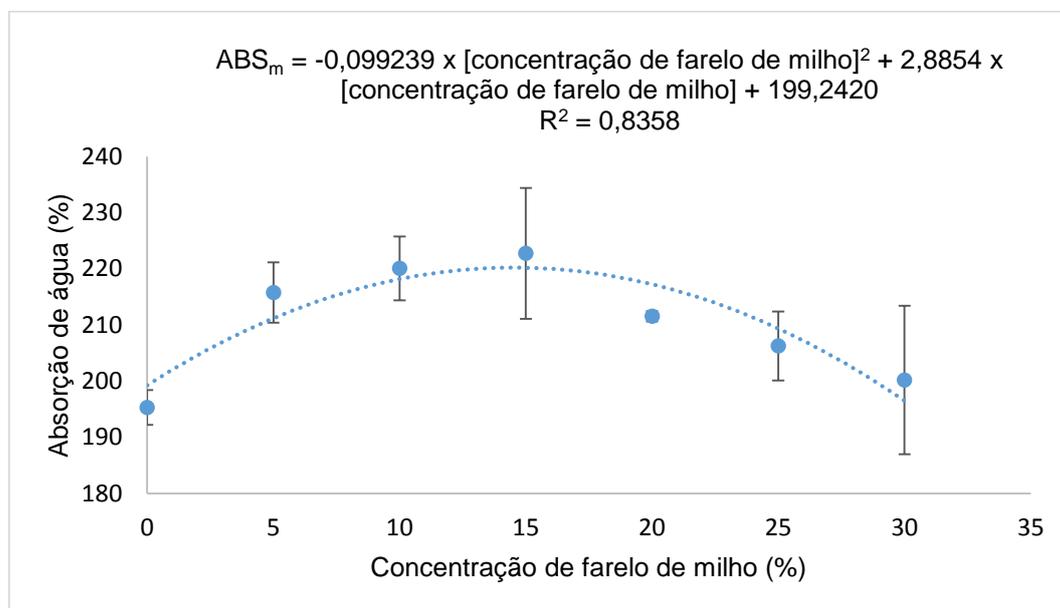
Figura 29: Tempo de cozimento da massa de macarrão elaborada com diferentes concentrações de farelo de milho



A absorção de água aumentou gradativamente ($p < 0,05$) (Figura 30) quando foi incorporado FCTT até o nível de 15%, obtendo um ponto de máximo de 14,53% de FCTT, que pode ser sido causada, principalmente, pela capacidade de retenção de água maior da fibra no farelo que contém um maior número de grupos hidroxilo em comparação com a farinha de trigo branca refinada (NIU, et al., 2014). Depois ocorreu uma diminuição de absorção de água até o nível de 30%, porém todas as amostras com FCTT obteve absorção maior que a formulação padrão. Isso deve ter ocorrido devido a diminuição de carboidratos disponíveis (principalmente amido) devido aumento na quantidade

de fibras, como também maior quantidade de gordura e proteína (BAGDI, et al, 2014) que prejudicaram a rede de glúten.

Figura 30: Absorção de água da massa de macarrão elaborada com diferentes concentrações de farelo de milho



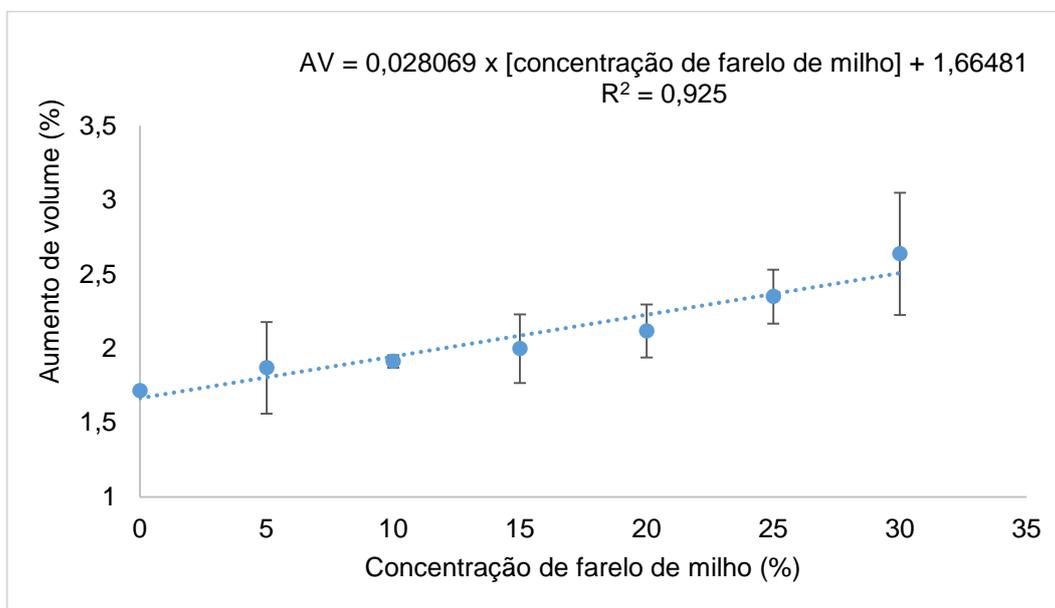
De acordo com Hummel (1966), um macarrão seco de boa qualidade deve absorver de duas a três vezes o seu peso em água. Deve-se considerar que um dos fatores que contribuem para a uma boa absorção de água é a pré-gelatinização do amido no processo de secagem. O macarrão em estudo teve absorção maior que duas vezes o seu peso em água.

No trabalho de Bagdi, et al. (2014), a absorção de água diminuiu de forma significativa ($p < 0,05$, $R^2 = 0,92$) com a crescente quantidade de farinha rica em aleurona. Petitot, et al, (2010) observou o mesmo comportamento, com absorção de água de 192% para macarrão elaborado com trigo duro e 166% para massa feita com feijão guandu. Porém, Niu, et al. (2014) observou aumento significativo na absorção de água em farelo de trigo com tamanho de partícula superfina em relação a amostra controle.

O aumento de volume da massa aumentou significativamente ($p < 0,05$) a medida que foi adicionando FCTT (Figura 31). De acordo com Hummel (1966), o macarrão de boa qualidade deve aumentar de 3 a 3,5 vezes o seu volume original, em se tratando de macarrão seco. No presente trabalho o macarrão

aumentou volumes menores de 1,71 na massa padrão para 2,64 para a formulação com 30% de FCTT.

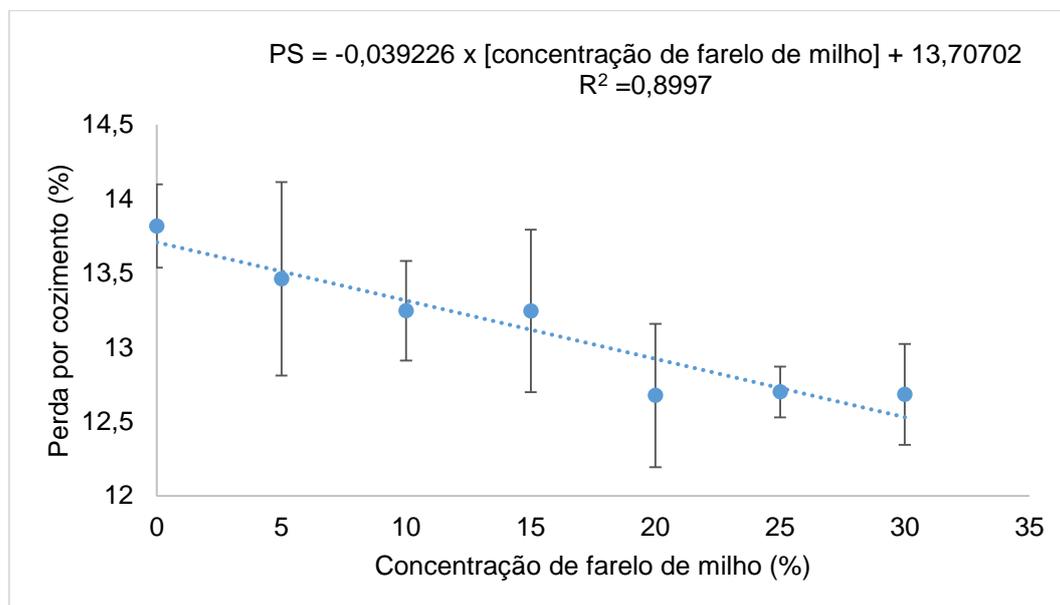
Figura 31: Aumento de volume da massa de macarrão elaborada com diferentes concentrações de farelo de milho



A perda por cozimento (PS) representa um fator de qualidade da massa, onde o aumento da perda de cozimento representa baixa qualidade (BAGDI, et al., 2014). Perda de sólidos é um dos parâmetros mais afetados pela incorporação de fibras na massa, porque a difusão uniforme da água de cozimento é influenciada pela integridade da matriz protéica, que por sua vez é afetada pelo teor de proteína e tipo de fibra incorporada. Aumento na perda de sólidos pode estar relacionada com a presença de componentes solúveis em água e enfraquecimento da rede de glúten, que é responsável pela retenção da amilose durante o cozimento.

No presente trabalho a adição de FCTT reduziu a perda por cozimento da massa significativamente ($p < 0,05$), onde a formulação com 30% de FCTT reduziu 8% a perda de sólidos em relação a formulação (Figura 32).

Figura 32: Perda por cozimento da massa de macarrão elaborada com diferentes concentrações de farelo de milho



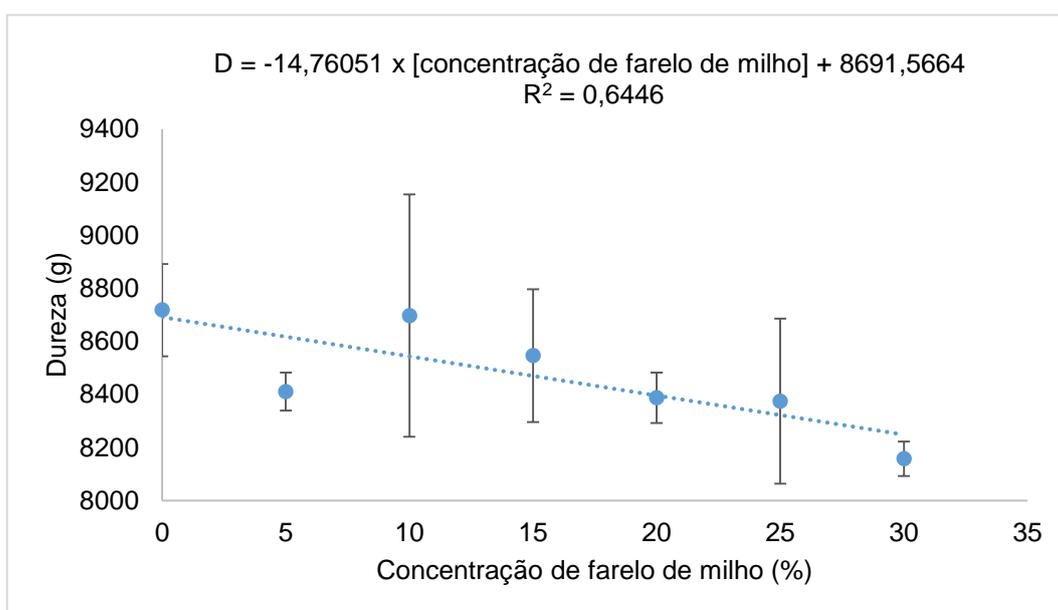
No trabalho de Bagdi, et al. (2014), a adição de farinha rica em aleurona também não provocou pobreza na qualidade da massa com relação a perda de sólidos. Isso pode ser devido a presença de proteínas e gorduras existente na farinha incorporada. Wood, (2009), encontrou resultado semelhante para espaguete fortificado com grão de bico. Já no trabalho de Aravind, et al. (2012a) a incorporação de fibra insolúvel até o nível de 30% reduziu a perda de sólidos por cozimento, em seguida, aumentou significativamente até o nível de 60% de incorporação, com quase 2% maior que a formulação controle. No estudo de Patitot, et al, (2010), foi notado perda por cozimento de 5,6% para a massa de trigo duro e 7,0 e 6,8% para ervilha e feijão fava respectivamente. Aravind, et al., (2012b) também observou aumento de perda por cozimento com fibra dietética solúvel de inulina. É possível que parte da inulina tenha sido lixiviada a partir da massa durante o cozimento, o que contribuiu para a perda por cozimento.

De acordo com Hummel (1966), o macarrão seco que apresenta até 6% de perda de sólidos é considerado muito bom; até 8%, regular; e acima de 10%, ruim.

Dureza (D) é a força necessária para atingir uma determinada deformação ou penetração (PETITOT, et al., 2010). Para macarrão, D corresponde à força necessária para comprimir uma tira de massa entre os

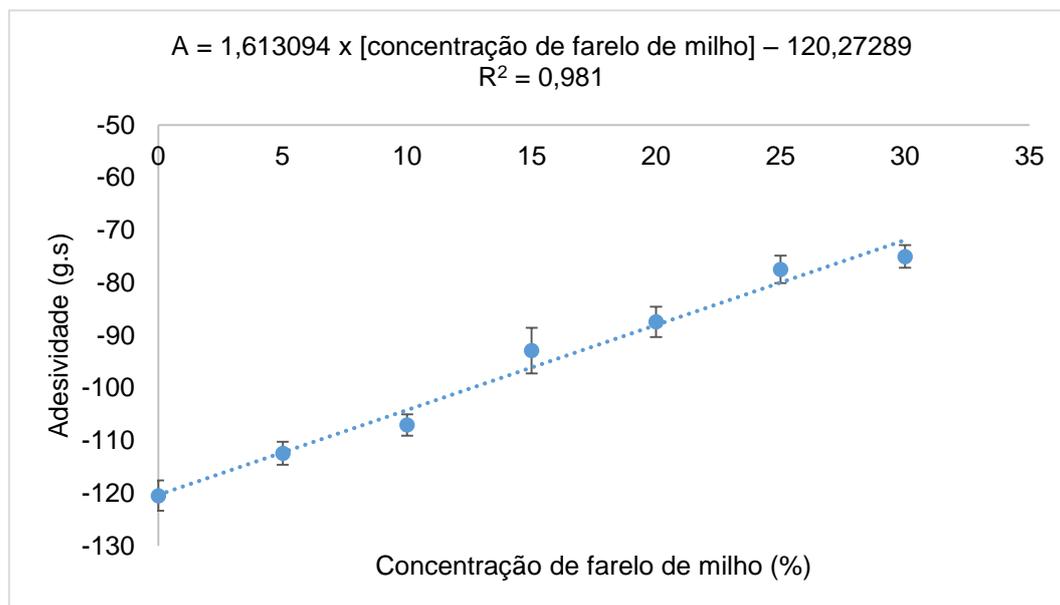
dentos molares (PETITOT, 2010). A D da massa de macarrão diminuiu significativamente ($p < 0,05$) quando foi adicionado farelo de milho nas concentrações de 0 a 30% (Figura 33). Em contrapartida, Petitot, et al (2010), percebeu aumento significativo de D (38% e 43%) quando fortificou massa de trigo duro com incorporação de 35% de ervilha e feijão fava respectivamente. No trabalho de Chen, et al. (2012), a suplementação de farelo de trigo resultou em D significativamente menor do que o controle em todas as concentrações (5, 10, 15 e 20%) e tamanho de partículas (0,21, 0,53 e 1,72), com exceção da formulação com tamanho de partícula (0,21 mm) e concentração de 5% de farelo de trigo que apresentou D maior que a formulação padrão.

Figura 33: Dureza da massa de macarrão elaborada com diferentes concentrações de farelo de milho



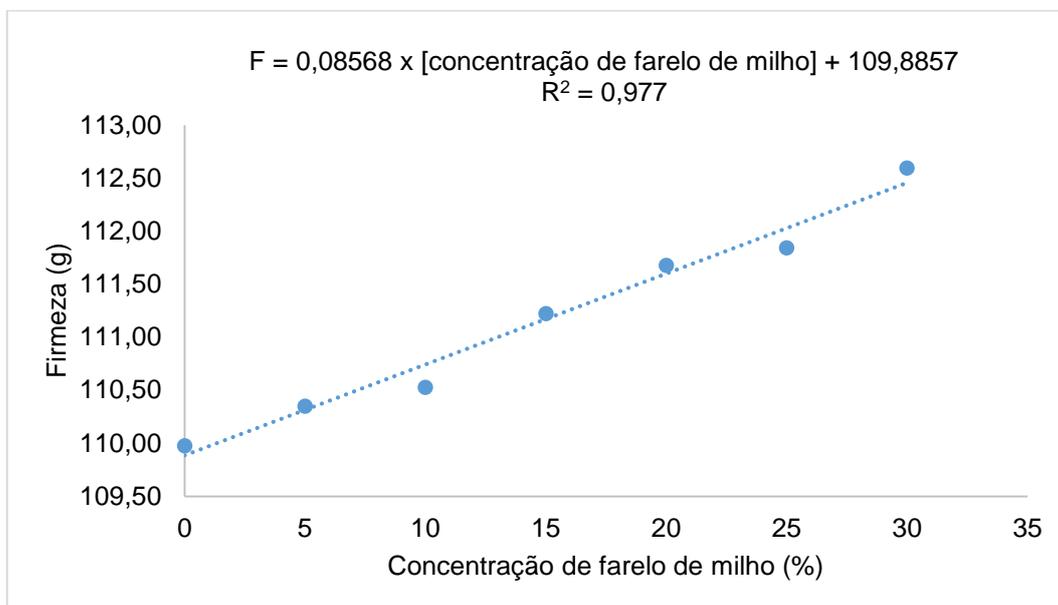
A adesividade (A) aumentou significativamente ($p < 0,05$) com adição de FCTT nas diferentes concentrações (Figura 34). Bagdi, et al. (2014) observou o mesmo comportamento que se refere a redução de viscosidade. Aumento de A e conseqüentemente diminuição da viscosidade pode resultar da redução de hidratos de carbono disponíveis, especialmente amido, o que contribui para diminuir a quantidade de material de lixiviação (ARAVIND, et al., 2012a) ou pode também está relacionada com a firmeza, presença de proteínas e gorduras (BAGDI et al., 2014).

Figura 34: Adesividade da massa de macarrão elaborada com diferentes concentrações de farelo de milho



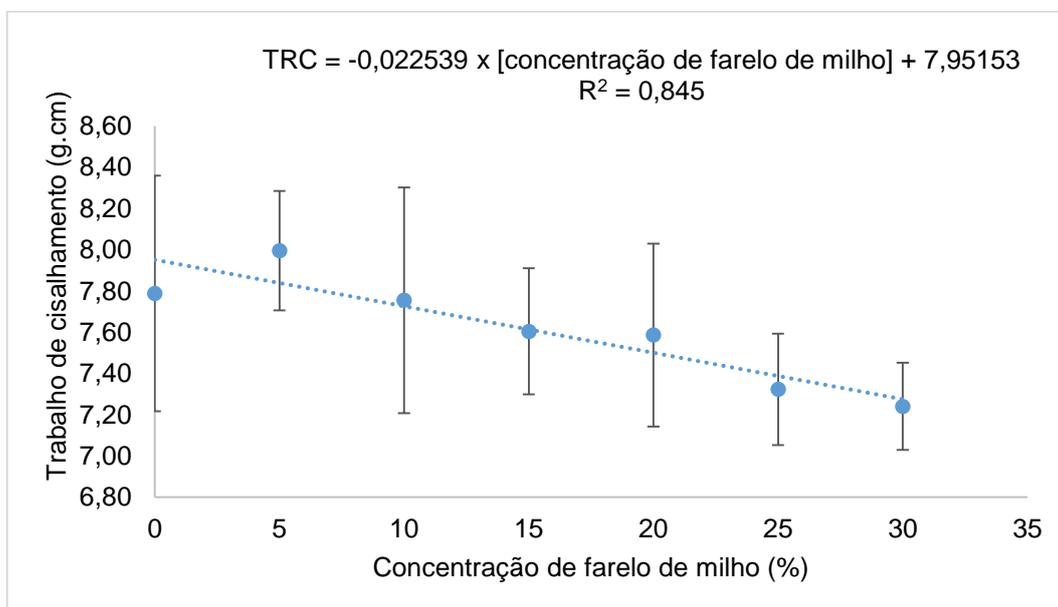
Firmeza (F) representa a força de corte necessária para penetrar tiras de massa (PETITOT, et al., 2010). F aumentou significativamente ($p < 0,05$) quando aumentou o nível de FCTT na massa (Figura 35). Bagdi, et al., (2014) observou o mesmo comportamento na F. No estudo de Aravind, et al. (2012a), também ocorreu um aumento significativo em todos os níveis de incorporação de fibra insolúvel, sendo que todas as incorporações foram maiores que a formulação controle. Uma explicação para este efeito pode ser devido a interação dos lipídios não polares da farinha incorporada com o amido da farinha de trigo. Os lipídios apolares quando estão ligados ao grânulo de amido são conhecidos por reduzir a ruptura dos mesmos. Isso assegura um gel de amido firme na massa, e conseqüentemente, um produto mais firme e menor lixiviação da amilose e amilopectina que são responsáveis pela viscosidade (ARAVIND, et al., 2012a). Outro fator está relacionado com a auto-absorção do farelo de trigo que pode ter um efeito sobre o transporte de água disponível no processo de cozimento (CHEN, et al., 2012). Em contrapartida, na pesquisa de Wood (2009) a incorporação de grão de bico não apresentou diferença significativa nas concentrações de 10% e 15% com valores de F semelhantes ao da formulação controle. No entanto, houve diminuição de F quando fortificado com 20% e 30%.

Figura 35: Firmeza da massa de macarrão elaborada com diferentes concentrações de farelo de milho



Trabalho de cisalhamento diminuiu significativamente ($p < 0,05$) com a incorporação de farelo de milho (Figura 36).

Figura 36: Trabalho de cisalhamento da massa de macarrão elaborada com diferentes concentrações de farelo de milho.



6. CONCLUSÃO

A utilização de farelo de milho como alimento para consumo humano e sua possível incorporação em massas alimentícias, como macarrão, é uma opção para pessoas que desejam melhorar a qualidade nutricional da dieta.

Embora farelo de milho seja rapidamente deteriorada através de rancificação lipídica, o mesmo pode ter sua vida de prateleira aumentada através da aplicação de tratamento térmico com redução da atividade enzimática.

A incorporação de FCTT nas formulações de massa afetou as propriedades reológicas, diminuindo a estabilidade e o tempo de desenvolvimento de massa e aumentou o índice de tolerância a mistura deixando a farinha mais fraca. No entanto, ao avaliar as análises alveográficas e extensográficas, pode notar um aumento da relação P/L e R/E e uma diminuição da extensibilidade. Isso demonstra uma farinha de alta resistência a extensão, fator desejável para elaboração de massas alimentícias. Com isso, a adição de farelo de milho tratado termicamente pode ser adicionado até 30% em substituição a farinha de trigo para aplicação em massas alimentícias.

A incorporação de farelo de milho em macarrão seco tipo talharim provocou aumento do tempo de cozimento, aumento de volume, diminuição de perda de sólidos e aumento na absorção até o nível de 14,53% e em seguida diminuição até o nível de 30%, além de aumentar a firmeza e adesividade e diminuir a dureza e trabalho de cisalhamento. Assim pode-se dizer que é possível utilizar farelo de milho até o nível de 30% para produção de massas alimentícias.

7. REFERÊNCIAS

AACC International. (2000). Approved methods of analysis AACC Approved methods 10th ed. St. Paul, Minnesota, USA: AACC International, Inc.

ANDREWS, W. H.; HAMMACK, T.S. **Bacteriological Analytical Manual**. Gaithersburg: U.S.A. Food and Drug Administration. 1998.

ANESE, M.; SOVRANO, S. Kinetics of thermal inactivation of tomato lipooxygenase. **Food Chemistry**, v. 95, p. 131–137. 2006.

ANKLAM, E.; STROKA, J.; BORKE, A. Acceptance of analytical methods for implementation of EU legislations with a focus on mycotoxins. **Food Control**, v. 13, p. 173-183, 2002.

AOAC. 2000. Official Methods of Analytical Chemist. EUA

ARAVIND, N.; SISSONS, M. J.; EGAN, N.; FELLOWS, C. Effect of insoluble dietary fibre addition on technological, sensory, and structural properties of durum wheat spaghetti. **Food Chemistry**, v.130, p. 299–309. 2012a.

ARAVIND, N.; SISSONS, M. J.; FELLOWS, C. M.; BLAZEK, J.; GILBERT, E. P. Effect of inulin soluble dietary fibre addition on technological, sensory, and structural properties of durum wheat spaghetti. **Food Chemistry**, v. 132, p. 993–1002. 2012.

BAIANO, A.; CONTE, A.; NOBILE, M. A. D. Influence of drying temperature on the spaghetti cooking quality. **Journal of Food Engineering**, v. 76, p. 341–347. 2006.

BAEK, J.; KIM, Y.; LEE, S. Functional characterization of extruded rice noodles with corn bran: Xanthophyll content and rheology. **Journal of Cereal Science**, v. 60, p. 311-316. 2014.

BAGDI, A.; SZAB, F.; GERE, A.; OKAI, Z.K.; SIPOS, L.; TOMOSKOZI, S. Effect of aleurone-rich flour on composition, cooking, textural, and sensory properties of pasta. **LWT - Food Science and Technology**, v. 59, p. 996-1002. 2014.

BENASI, V.T.; WATANABI, E.; LOBO, A. R. Produtos de panificação com conteúdo calórico reduzido. B. CEPPA, Curitiba, v.19, n.2, p. 225-242, jan/jun. 2001.

BETORET, L. et al. Development of probiotic-enriched dried fruits by vacuum impregnation. **Journal of Food Engineering**, v. 56, n 2/3, p. 273–277, 2003.

BRASIL, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC 263, de 22 de setembro de 2005, Aprova o Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos, Brasília. 22 de setembro de 2005.

BRASIL, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução - RDC nº 93, de 31 de outubro de 2000, aprova o Regulamento Técnico para Fixação de

Identidade e Qualidade de Massa Alimentícia. D.O.U. - Diário Oficial da União; de 01 de novembro de 2000.

BRASIL, Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. Portaria nº 354, de 18 de julho de 1996. Aprova a Norma Técnica referente a Farinha de Trigo. D.O.U. - Diário Oficial da União; Poder Executivo, de 22 de julho de 1996.

BRASIL, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução - RDC Nº 7, de 18 de fevereiro de 2011. Aprova Regulamento Técnico que dispõe sobre limites máximos tolerados (LMT) para micotoxinas em alimentos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, fevereiro de 2011. Seção 1 - p.72

BRASIL, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001, aprova o Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. D.O.U. - Diário Oficial da União; Poder Executivo, de 10 de janeiro de 2001.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 27 de 13 de janeiro de 1998. Aprova o regulamento técnico referente à informação nutricional complementar (declarações relacionadas ao conteúdo de nutrientes). D.O.U. - Diário Oficial da União; Poder Executivo, de 16 de janeiro de 1998.

BRITO, A. B. et al. Avaliação nutricional do gérmen integral de milho para aves. *Ciência Animal Brasileira*, Goiânia, v. 6, n. 1, p. 19-26, 2005.

BORGES, J. T. S. et al. Utilização de farinha mista de trigo e quinoa na elaboração de bolos. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**. Ponta Grossa/Paraná. 2013.

BUENO, R. O. G. **Características de qualidade de biscoitos e barras de cereais ricos em fibra alimentar a partir de farinha de semente e polpa de nêspera**. 2005. 118f. Trabalho de conclusão de curso (Pós-graduação em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

CANÇADO, R. A. **Avaliação microbiológica e micotoxicológica de grãos de milho (*Zea mays* Linné) e soja (*Glycine max.* (Linné) Merrill) provenientes de cultivo convencional da sementes naturais e geneticamente modificadas**. 2004. 166f. Trabalho de conclusão de curso (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

CASTRO, M. V. L et al. fração gérmen com pericarpo de milho na alimentação humana: qualidade nutricional e aplicação tecnológica. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 213-219. 2011.

CASTRO, M. V. L. et al. Rendimento industrial e composição química de milho de alta qualidade protéica em relação a híbridos comerciais. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 3, p. 233-242, 2009.

CHEN, J. S. et al. Effect of particle size and addition level of wheat bran on quality of dry white Chinese noodles. **Journal of Cereal Science**, v. 53, p. 217-224. 2011.

CICHELO, M.S.F. et al. Alternativas de emulsificantes para a qualidade de massas alimentícias. Artigo Técnico, 2000.

CONAB - Campanha Nacional de abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v. 2 - Safra 2014/15, n. 10 - Décimo levantamento, Brasília, p. 1-109, julho 2015.

CHOO, C. L.; AZIZ, N. A. A. Effects of banana flour and b-glucan on the nutritional and sensory evaluation of noodles. **Food Chemistry**, v. 119, p. 34–40. 2010.

COUTO, E. M. **Utilização da Farinha de casca de Pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) na elaboração de pão de forma**. 107p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos). Universidade Federal de Lavras – UFLA. 2007.

CRUZ, R. S.; SOARES, N. F. F. Effect of CO₂ addition on technological and sensorial characteristics in fresh pasta type talharim. **Ciência agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 4, p. 848-855, jul./ago. 2004.

DASHTI, et al. Soluble and insoluble dietary fibre in thirty-two Kuwaiti dishes. **Food Chemistry**, v. 83, p. 557–561. 2003.

DELAHAYE, E.P.; JIMÉNEZ, P.; PÉREZ, E. Effect of enrichment with high content dietary fiber stabilized rice bran flour on chemical and functional properties of storage frozen pizzas. **Journal of Food Engineering**, v. 68, p. 1–7. 2005.

DOBLADO-MALDONADO, A. F.; PIKE, O. A.; SWELEY, J. C.; ROSE, D. J. Key issues and challenges in whole wheat flour milling and storage. **Journal of Cereal Science** v. 56, p. 119-126. 2012.

EL DASH, A.; GERMANI, R. Tecnologias de farinhas mistas: uso de farinhas mistas na produção de massas alimentícias. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Tecnologia Agroindustrial de alimentos**. – Brasília: EMBRAPA – SPI, 1994. V. 5. 38p.

FARDET, A. How can both the health potential and sustainability of cereal products be improved? A French perspective. **Journal of Cereal Science**, v. 60, p. 540-548. 2014.

FERNANDES, A. F. **Utilização da farinha de casca de batata inglesa (*solanum tuberosum* L.) na elaboração de pão integral**. 2006. 144f. Trabalho de conclusão de curso (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras. Minas Gerais, 2006.

FILHO, E. F. **Métodos e temperaturas de secagem sobre a qualidade físico-química e microbiológica de grãos de milho no armazenamento**.

2011. 109f. Trabalho de conclusão de curso (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

FOSCHIA, M.; PERESSINI, D.; SENSIDONI, A.; BRENNAN, M. A.; BRENNAR, C. S. How combinations of dietary fibres can affect physicochemical characteristics of pasta. **LWT - Food Science and Technology**, v. 61, p. 41-46. 2015.

GALLEGOS-INFANTE, J. A., ROCHA-GUZMAN, N. E., GONZALEZ-LAREDO, R. F., OCHOA-MARTINEZ, CORZO, N., BELLO, L.A., MEDINA-TORRES, L., PERALTA, L. E. Quality of spaghetti pasta containing Mexican common bean flour (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Chemistry**, v. 119, p. 1544–1549. 2010.

GIMÉNEZ, M. A.; DRAGO, S. R.; GREEF, D.; GONZALEZ, R.J.; LOBO, M. O.; SAMMAN, N. C. Rheological, functional and nutritional properties of wheat/broad bean (*Vicia faba*) flour blends for pasta formulation. **Food Chemistry**, v. 134, p. 200–206. 2012.

GUILHERME, F. F. P.; JOKL, L. Emprego de Fubá de melhor qualidade protéica em farinhas mistas para produção de biscoitos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 01, p. 63-71, jan/mar. 2005.

GULER, S., KOKSEL, H., NG, P. K. W. Effects of industrial pasta drying temperatures on starch properties and pasta quality. **Food Research International**, v. 35, p. 421–427. 2002.

GWIRTZ, J. A.; CASAL, M. N. G. Processing maize flour and corn meal food products. **Ann. N.Y. Academy Sciences**. ISSN 0077-8923. 2014.

HASAN, F.; SHAH, A. A.; HAMEED, A. Methods for detection and characterization of lipases: A comprehensive review. **Biotechnology Advances**. v. 27, p. 782–798. 2009.

HUMMEL, C. **Macaroni products: manufacture processing and packing**. 2. ed. London: Food Trade, 287 p. 1966.

Instituto Adolfo Lutz. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. v. 1: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos, 4. ed. São Paulo: IMESP, 2004. 1004p.

KIM, S.; CHUNG, H.; LIM, S. Effect of various heat treatments on rancidity and some bioactive compounds of rice bran. **Journal of Cereal Science**, v. 60, n. 1, p. 243-248. 2014.

KTENIOUDAKI, A.; O'SHEA, N.; GALLAGHER, E. Rheological properties of wheat dough supplemented with functional by-products of food processing: Brewer's spent grain and apple pomace. **Journal of Food Engineering** 116, 362–368. 2013.

LARA, E., CORTÉS. P., BRIONES, V., PERES. M. Structural and physical modifications of corn biscuits during baking process. **LWT - Food Science and Technology** v. 44, p. 622-630. 2011.

LEHTINEN, P. et al. Effect of heat treatment on lipid stability in processed oats. **Journal of Cereal Science**, v. 37, p. 215-221. 2003.

LIMA, C. C. **Aplicação das Farinhas de Linhaça (*Linum usitatissimum* L.) e Maracujá (*Passiflora edulis* Sims F. *Flavicarpa* Deg.) no Processamento de Pães com Propriedades Funcionais**. Fortaleza, 2007. 148p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal do Ceará.

LOPEZ, A. C., MINNAARD, J., PEREZ, P. F., ALIPPI, A. M. A case of intoxication due to a highly cytotoxic *Bacillus cereus* strain isolated from cooked chicken. **Food Microbiology**, v. 46, p.195-199. 2015.

LOPEZ-DUARTE, A. L.; VIDAL-QUINTANAR, R. L. Oxidation of linoleic acid as a marker for shelf life of corn flour. **Food Chemistry**, v. 114, p. 478–483. 2009.

MARETTI, M. C. Aspectos tecnológicos e avaliação clínica da ação hipocolesterolêmica de biscoitos formulados com farinha de soja e farelo de aveia. Londrina, 213p. 2008.

MARIN, S., RAMOS, A.J., CANO-SANCHO., SANCHIS, V. Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment. **Food and Chemical Toxicology**, v. 60, p. 218–237. 2013.

MEDEIROS, G. R.; KWIATKOWSKI, A.; CLEMENTE, E. Características de qualidade de farinhas mistas de trigo e polpa de pupunha (*bactris gasipaes* kunth). **Rev. Alim. Nutr.** Araraquara v. 23, n. 4, p. 655-660, out./dez. 2012.

MEERA, M.S., BHASHYAM, M.K., Ali, S.Z. Effect of heat treatment of sorghum grains on storage stability of flour. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, p. 2199-2204. 2011.

MENDONÇA, S.; GROSSMANN, M. V. E.; VERHE, R. Corn Bran as a Fibre Source in Expanded Snacks. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v. 33, p. 2-8. 2000.

MINISTÉRIO DA SAÚDE - PORTARIA nº 354, de 18 de julho de 1996. Norma Técnica referente a Farinha de Trigo.

MOURA, F. A. et al. Biscoitos tipo “cookie” elaborados com diferentes frações de sementes de abóbora (*Curcubita Maxima*). **Revista Alimentar e Nutrição**, Araraquara, v. 21, n. 4, p. 579-585, out./dez. 2010.

MUDGIL, D.; BARAK, S. Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, V. 61, P. 1–6, 2013.

NAVES, M. M. V. et al. Corn germ with pericarp in relation to whole corn: nutrient contents, food and protein efficiency, and protein digestibility-corrected amino acid score. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 31, n. 1, p. 264-269, 2011.

NIU, M.; HOU, G. G.; WANG, L.; CHEN, Z. Effects of superfine grinding on the quality characteristics of whole-wheat flour and its raw noodle product **Journal of Cereal Science**, v. 60, p. 382-388. 2014.

NOORT, M. W. J. et al. The effect of particle size of wheat bran fractions on bread quality e Evidence for fibre - protein interactions. **Journal of Cereal Science**, v. 52, p. 59-64. 2010.

OH, I. K.; BAE, I. Y.; LEE, H. G. In vitro starch digestion and cake quality: Impact of the ratio of soluble and insoluble dietary fiber. **International Journal of Biological Macromolecules**, V. 63, P. 98–103. 2014.

ORMENESE, R. C. S.C.; FARIA, E. V.; GOMES, C. R.; YOTSUYANAGI, K. Massas Alimentícias Não-convencionais à Base de Arroz Perfil Sensorial e Aceitação pelo Consumidor. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 4, p.67-74, 2001.

ORMENESE, R.; CHANG, Y. Massas alimentícias de arroz: uma revisão. **Brazilian Journal of Food Technology**. Curitiba, v. 20, n. 2, p. 175-190, jul.-dez. 2002.

ORO, T. Adaptação de métodos para avaliação da qualidade tecnológica de farinha de trigo integral. Florianópolis/SC. 2013.

OVANDO-MARTINEZ, M.; SÁYAGO-AYERDI, S.; AGAMA-ACEVEDO, E.; GOÑI, I.; BELLO-PÉREZ, L. A. Unripe banana flour as an ingredient to increase the undigestible carbohydrates of pasta. **Food Chemistry**, v. 113, p. 121–126. 2009.

PATEL, S. Cereal bran fortified-functional foods for obesity and diabetes management: Triumphs, hurdles and possibilities. **Journal of functional foods** 14, 255–269. 2015.

PEÑA, E. et al. Rheological properties of pasta dough during pasta extrusion: Effect of moisture and dough formulation. **Journal of Cereal Science**, v. 60, p. 346-351. 2014.

PEREZ, P. M. P.; GERMANI, R.; Farinha Mista de Trigo e Berinjela: Características Físicas e Químicas. **Boletim CEPPA** , Curitiba, v. 22, n. 01, p. 15-24, jan./jun. 2004.

PETITOT, M. et al. Fortification of pasta with split pea and faba bean flours: Pasta processing and quality evaluation. *Food Research International*, v. 43, p. 634–641. 2010.

RAYMUNDO, A.; FRADINHO, P.; NUNES, M.C. Effect of Psyllium fibre content on the textural and rheological characteristics of biscuit and biscuit dough. **Bioactive carbohydrates and dietary fibre**, v. 3, p. 96 –105. 2014.

ROCHA, L. O. **Distribuição de fungos e micotoxinas em grão de milho recém colhidos e variabilidade genética das cepas de Fusarium verticillioides e aspergillus flavus isoladas**. 2010. 174f. Tese (Doutorado em

Microbiologia) – Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

SAHA, et al. Compositional and varietal influence of finger millet flour on rheological properties of dough and quality of biscuit. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, p. 616-621. 2011.

SANT'ANNA, V. et al. The effect of the incorporation of grape marc powder in fettuccini pasta properties. **LWT - Food Science and Technology**, v. 58, p. 497-501. 2014.

SCHEUER, P. M. **Caracterização de cultivares brasileiras de trigo com indicação de aplicabilidade tecnológica**. 2009. 128f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Ciências Agrárias - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SCHMIDT, P. et al. Concentração de micotoxinas e composição química da silagem de milho: Uma pesquisa fazenda usando termografia infravermelha. **Journal of Dairy Science**, doi: 10,3168 / jds.2014-8617. 2015.

SINGH, M., LIU, S.X., VAUGHN, S.F. Effect of corn bran as dietary fiber addition on baking and sensory quality. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 1, p. 348–352. 2012.

SINGH, M.; LIU, S.X.; VAUGHN, S.F. Effect of corn bran particle size on rheology and pasting characteristics of flour gels. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**. V. 2, p. 138–142. 2013.

SUDHA, M.L.; BASKARAN, V.; LEELAVATHI, K. 2007. Apple pomace as a source of dietary fiber and polyphenols and its effect on the rheological characteristics and cake making. **Food Chemistry**, v. 104, p. 686–692. 2007a.

SUDHA, M.L.; VETRIMANI, R.; LEELAVATHI, K. Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. **Food Chemistry**, v. 100, p. 1365–1370. 2007b.

Tabela brasileira de composição de alimentos / NEPA – UNICAMP. 4. ed. rev. e ampl. - Campinas: NEPA- UNICAMP, 2011. 161 p.

TESSARI, E.N.C. **Efeitos da administração de aflatoxina B₁ e fumonisina B₁ sobre frangos de corte**. 2004. 134p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia - Área de Qualidade e Produtividade Animal) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2004.

VANDERSANT, C; SPLITTSTOESSER, D.F. American public health association – APHA. Compendium of methods for the microbiological examination of food. 3 ed. Washington: 1992, 1219p.

WANG, J.; ROSELL, C. M.; BARBER, C. B. Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. **Food Chemistry**, v. 79, p. 221–226. 2002.

WANG, Y. et al., Development of a rapid and simultaneous immunochromatographic assay for the determination of zearalenone and fumonisin B1 in corn, wheat and feedstuff samples. *Food Control*, v. 31(1), p.180–188. 2013.

WOOD, J, A, Texture, processing and organoleptic properties of chickpea-fortified spaghetti with insights to the underlying mechanisms of traditional durum pasta quality. ***Journal of Cereal Science***, v. 49, p. 128–133. 2009.

ZHANG, X, et al., A novel electrochemical immunosensor for highly sensitive detection of aflatoxin B1 in corn using single-walled carbon nanotubes/chitosan. ***Food Chemistry***, v. 192, p. 197–202. 2016.